



TUGAS AKHIR -TL141584

**PENGARUH LONG IMMERSING TIME DAN
PENDINGINAN *COPPERIZED* AISI 1006
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT
KEKERASAN**

ZULKIFLI
NRP. 2712100028

Dosen Pembimbing:
Sutarsis, ST., M.Sc.
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL & METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



FINAL PROJECT - TL141584

**EFFECTS OF LONG IMMERSING TIMES AND
COOLING TEMPERATURES OF AISI 1006
COPPERIZING PROCESS ON ITS
MICROSTRUCTURES AND HARDNESS
PROPERTIES**

**ZULKIFLI
NRP. 2712100028**

**Advisor:
Sutarsis, ST., M.Sc.
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.**

**MATERIALS & METALLURGICAL ENGINEERING
FATEMBAGALTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**

**PENGARUH LONG IMMERSING TIME DAN
PENDINGINAN COPPERIZED AISI 1006 TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT KEKERASAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**ZULKIFLI
NRP 2712100028**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sutarsis, S.T., M.Sc. (Pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)



PENGARUH LONG IMMERSING TIME DAN PENDINGINAN *COPPERIZED* AISI 1006 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT KEKERASAN

Nama : Zulkifli
NRP : 2712100028
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Sutarsis, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Copperizing merupakan penambahan tembaga menggunakan teknik hot-dip. Penambahan tembaga dilakukan karena dapat meningkatkan kekerasan pada baja karbon rendah, dengan cara memperkecil ukuran butir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu celup dan pendinginan pada struktur mikro dan sifat kekerasan *copperized* AISI 1006 serta mekanisme penguatannya. Variasi waktu celup yang digunakan yaitu 10 menit, 20 menit, dan 30 menit serta pendinginan normal dan cepat (*quench*). Pengujian yang dilakukan pada penelitian berupa pengujian spektrometri untuk menganalisis unsur, pengujian *x-ray diffraction* untuk mengamati transformasi fasa yang terbentuk, pengujian metalografi untuk mengamati perubahan struktur mikro, pengujian SEM EDX untuk mengamati topologi dan persebaran dari atom tembaga, dan pengujian *microhardness* untuk menganalisis kekerasan fasa yang diperoleh dari sampel uji. Hasil penelitian terlihat bahwa telah terjadi perubahan struktur mikro dan sifat kekerasan. Struktur mikro yang diperoleh pada pendinginan normal dan waktu celup 10 menit; 20 menit; dan 30 menit adalah ferrit, ferrit, dan pro-eutectoid ferrit. Sedangkan struktur mikro yang diperoleh pada pendinginan *quench* dan waktu celup 10 menit; 20 menit; dan 30 menit adalah ferrit, martensit dan bainit. Nilai kekerasan maksimum diperoleh dengan pendinginan *quench* dan waktu celup 20 menit sebesar 309,97 HV dikarenakan terbentuknya struktur mikro martensit.

Mekanisme penguatan yang terjadi pada AISI 1006 dengan metode *copperizing* adalah pengecilan butir ferrit untuk waktu celup 10 menit pendinginan normal dan *quench*, serta 20 menit pendinginan normal. Sedangkan sampel uji lainnya mengalami perubahan struktur mikro.

Kata kunci: AISI 1006, *Copperizing*, kekerasan, struktur mikro, tembaga.

**EFFECTS OF LONG IMMERSING TIMES AND
COOLING TEMPERATURES OF AISI 1006
COPPERIZING PROCESS ON ITS MICROSTRUCTURES
AND HARDNESS PROPERTIES**

Name : Zulkifli
NRP : 2712100028
Department: Materials and Metallurgical Engineering FTI-ITS
Advisor : Sutarsis, S.T., M.Sc.
Co-Advisor: Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Copperizing is the addition of copper using hot-dip technique. The addition of copper is done to increase the hardness of low carbon steel, by minimizing the grain size. This study aims to determine the effect of immersion time and cooling temperatures on the microstructure and hardness properties of copperized AISI 1006 and strengthening mechanisms. The time variation of immerse used is 10 minutes, 20 minutes and 30 minutes as well as normal and rapid cooling (quench). Tests conducted on the research are spectrometry test to analyze the elements, x-ray diffraction test to observe the formed of phase transformation, metallographic test to observe changes in the microstructure, SEM EDX test to observe the topology and distribution of the copper atoms, and testing of microhardness to analyze violence phase obtained from the test sample. Research results visible changes in the microstructure and hardness properties. Microstructure obtained in the normal cooling with immersion time 10 minutes; 20 minutes; and 30 minutes is ferrite, ferrite and pro-eutectoid ferrite. While the microstructure obtained in quench cooling with immersion time 10 minutes; 20 minutes; and 30 minutes is ferrite, martensite and bainite. The maximum hardness value is obtained by rapid cooling and 20 minutes immersion time is 309.97 HV due to the formation of martensite microstructure. The strengthening mechanism that occurs in AISI

1006 with copperizing method is refining the ferrite grains for 10 minutes immersion time of normal cooling and quench, as well as 20 minutes of normal cooling. While the other test samples undergo changes in the microstructure.

Keywords: AISI 1006, copperizing, copper, hardness, microstructure

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul

**“Pengaruh *Long Immersing Time* dan Pendinginan
Copperized AISI 1006 terhadap Struktur Mikro dan Sifat
Kekerasan”.**

Terima kasih kepada semua pihak yang berperan pada penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yunus dan keluarga yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat yang sangat berguna;
2. Sutarsis, S.T., M.Sc. dan Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis;
3. Bapak Chanan, pak Tari, pak Anto, dan mbak Is yang membantu penulis selama perjalanan penelitian Tugas Akhir;
4. Seluruh MT 14 yang selalu saling menguatkan dalam usaha dan doa untuk kesuksesan;
5. Penghuni semolowaru elok ai-10 yang selalu memberi doa dan support untuk penulis; dan
6. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya, Januari 2016
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
I.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Baja AISI 1006	3
II.2 Tembaga	4
II.3 Baja High-Strength Low-Alloy	5
II.4 Perlakuan Panas	7
II.5 Mekanisme Penguatan	10
II.6 Pengaruh Tembaga dalam Baja	11
II.7 Difusi	12
II.8 Penelitian Sebelumnya	14
BAB III METODOLOGI	
III.1 Diagram Alir	18
III.2 Metode Penelitian	29
III.3 Material	20
III.4 Alat	20
III.5 Prosedur Percobaan	22
III.6 Proses Pengujian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil	28
IV.2 Pembahasan	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1	KESIMPULAN	44
V.2	SARAN	45
DAFTAR PUSTAKA		xiv
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Mikro Baja Karbon Rendah AISI 1006; Etsa Nital; Perbesaran 200x (ASM Insternational, 2002).....	4
Gambar 2.2 Struktur Mikro Baja Tembaga Murni; Etsa Picral; (Kundig et al, 2006)	5
Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C (Callister, 2007)	9
Gambar 2.4 (a) Struktur Mikro Bainit 0.40%C; (b) Struktur Mikro Martensit 0.35%C (Thelning, 2000)	9
Gambar 2.5 Mekanisme Penguatan Logam	10
Gambar 2.6 Digram Fasa Fe-Tembaga	12
Gambar 2.7 Struktur Mikro Baja HSLA-100; Etsa Nital (a) 0,06%C Martensit; (b) 0,04%C Bainit (Wilson, 1990).....	14
Gambar 2.8 Struktur Lath Martensit Pada 0,08%C (Ghosh, 2005)	15
Gambar 2.9 Pengaruh Waktu Celup terhadap Kekuatan Tarik Pada NiFe, TembagaFe, dan Acronitrile butadiene stiren (ABS) (Sharma, et al. 2014)	16
Gambar 2.10 Hasil XRD Microalloying Ti-Nb dengan <i>Actembagamulative Roll Bending</i> (ARB) (Tohidi, 2013)	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3.2 Tampak Depan <i>Vacuum Furnace</i>	21
Gambar 3.3 Prinsip kerja OES	23
Gambar 3.4 Skema Kerja XRD (D. M. Moore and R. C. Reynolds, 1997)	24
Gambar 3.5. Alur Pantul Sinar Pada Metalografi	26
Gambar 4.1 Pengamatan Makro Penampang Spesimen Pada Pendinginan Normalising , dengan Waktu Celup (a) 10, (b) 20, dan (c) 30 menit dan Pendinginan Quenching, dengan Waktu Celup (d) 10, (e) 20, dan (c) 30 menit	28

Gambar 4.2 Spektrum XRD pada <i>Copperized</i> Pendinginan (a) Normal; (b) Quench	31
Gambar 4.3 Pelebaran Peak Pada Pendinginan (a) Normalising dan (b) Quenching	32
Gambar 4.4 Struktur Mikro Pendinginan Normal Perbesaran 200x (a) Tanpa Perlakuan; <i>Copperized</i> (b) 10; (c) 20; dan (d) 30 menit	34
Gambar 4.5 Struktur Mikro Pendinginan Quench Perbesaran 200x (a) Tanpa Perlakuan; <i>Copperized</i> (b) 10; (c) 20; dan (d) 30 menit.....	35
Gambar 4.6 Hasil <i>mapping</i> tembaga (Cu) menggunakan SEM EDS pada spesimen baja AISI 1006 copperizing (a) 10 menit, (b) 30 menit; pendinginan normal; bagian tepi perbesaran 1000x	37
Gambar 4.7 Hasil <i>mapping</i> tembaga (Cu) menggunakan SEM EDS pada spesimen baja AISI 1006 copperizing (a) 10 menit, (b) 20 menit, dan (c) 30 menit; pendinginan quench; bagian tepi perbesaran 1000x	38
Gambar 4.8 Nilai Kekerasan Dari Sampel Uji Pendinginan Normal	39
Gambar 4.9 Nilai Kekerasan Dari Sampel Uji Pendinginan <i>Quench</i>	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data komposisi kimia AISI 1006 (ASTM A830) ..	3
Tabel 2.2	Sifat Fisik Tembaga (CDA, 2010)	4
Tabel 4.1	Ketebalan Sampel dan Tembaga setelah <i>Copperizing</i>	29
Tabel 4.2	Komposisi Kimia Sampel Uji	30
Tabel 4.3	Regangan Sampel Uji	33
Tabel 4.4	Komposisi Fasa Hasil SEM EDX untuk Spesimen Baja AISI 1006 Pendinginan Normal	37
Tabel 4.5	Komposisi Fasa Hasil SEM EDX untuk Spesimen Baja AISI 1006 Pendinginan <i>Quench</i>	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan paduan Fe-C yang selalu berkembang dari tiap periodenya, mulai dari baja karbon (rendah, menengah, dan tinggi), bukan baja (kadar karbon diatas 2%), dan baja paduan (Jaypuria, 2009). Dasar dari pengembangan baja paduan dikarenakan sifat dasar baja yang mudah terkorosi, keuletan yang rendah dan untuk mendapatkan beberapa sifat baja yang lain seperti *formability*, *machinability*. Banyak paduan yang dikembangkan untuk mendapatkan baja yang lebih baik, terutama pada paduan mikro (*microalloying*) dengan menghasilkan baja *hight-strength low-alloy steel* untuk menyeimbangkan kekuatan dan keuletan (Skobir, 2011).

Tembaga memiliki konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik, kekuatan dan *formability* yang baik, ketahanan korosi dan fatigue yang luar biasa, dan secara umum non-magnetik (CDA, 2010). Penambahan tembaga pada baja karbon rendah dapat meningkatkan kekuatan dan juga memperbaiki sifat kekerasan, serta menurunkan daerah terbentuknya struktur bainit dan martensit pada perlakuan aging (Wilson, 1990).

Tidak hanya dengan unsur paduan, namun dengan memberikan perlakuan pada baja tersebut dapat mendatangkan sifat mekanik yang diinginkan (Thelning, 2000). Berbagai macam perlakuan dapat diberikan pada baja tersebut seperti quenching, normalising, anil sempurna, dan sebagainya. Ketika baja sudah diberikan perlakuan dan unsur paduan, maka mekanisme penguatan akibat proses itu dapat menunjukkan sifat yang ditimbulkkan (Callister, 2007). Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh tembaga terhadap struktur mikro dan sifat kekerasan *plain carbon steel* yang dipadukan dengan metode *copperizing* dan variasi pendinginan. Penelitian yang dilaksanakan juga menganalisis mekanisme *strengthening* pada baja melalui proses *copperizing*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu celup dan variasi pendinginan terhadap struktur mikro *copperized* AISI 1006?
2. Bagaimana pengaruh waktu celup dan variasi pendinginan terhadap sifat kekerasan *copperized* AISI 1006?
3. Bagaimana mekanisme penguatan *copperized* AISI 1006?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan agar tidak terjadinya penyimpangan dari hasil penelitian, pembahasan, dan diperoleh hasil yang terbaik. Beberapa batasan masalah yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Tembaga yang digunakan dianggap murni.
2. Kecepatan pengangkatan sampel dianggap konstan,
3. Pengaruh lingkungan sekitar proses diabaikan,
4. Selisih temperatur saat sampel akan dicelupkan diabaikan;
5. Temperatur molten tembaga dianggap konstan, dan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakannya penelitian ini adalah:

1. Mengalisis pengaruh waktu celup dan variasi pendinginan terhadap struktur mikro *copperized* AISI 1006
2. Mengalisis pengaruh waktu celup dan variasi pendinginan terhadap sifat kekerasan *copperized* AISI 1006
3. Menganalisis mekanisme penguatan *copperized* AISI 1006

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan metode alternatif dan mekanisme kerja penguatan AISI 1006/ *plain carbon steel* melalui metode *copperizing* yang diaplikasikan dalam penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja AISI 1006

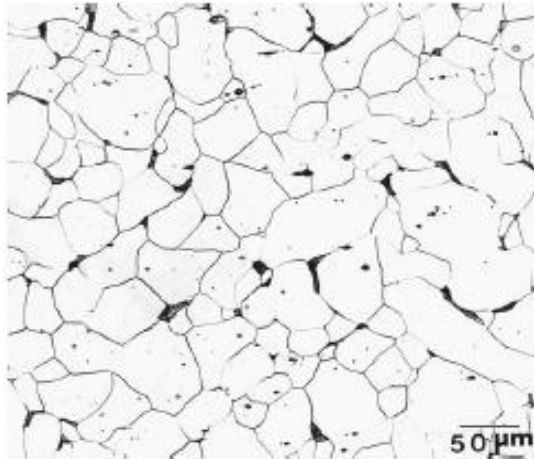
2.1.1 Komposisi

Baja AISI 1006 memiliki keuletan tinggi dan mampu mesin yang baik. Kadar komposisi baja AISI 1006 seperti dituliskan dalam ASTM A830-A830M dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dalam proses pembuatannya baja ini melibatkan proses *rolling*, karena sifatnya tersebut.

Tabel 2.1 Data komposisi kimia AISI 1006 (ASTM A830)

Elements	wt. %
Carbon, C	0.08 max
Iron, Fe	99,08-99,53
Manganese, Mn	0,45 max
Phosphorous, P	< 0,035 max
Sulfur, S	< 0,04 max

Secara umum baja jenis ini diklasifikasikan kembali berdasarkan komposisi karbonnya. Klasifikasi baja AISI 1006 termasuk baja karbon rendah karena memiliki kadar karbon <0,2 % (ASM International, 2002). Keuletan dan mampu mesin yang baik diperoleh dari kadar karbon pada baja tersebut. Semakin baik sifat keuletan dan mampu las dari baja, maka dapat menurunkan sifat kekerasan dan kekuatannya (Jaypuria, 2009). Stuktur mikro dari baja karbon rendah adalah ferrit menyeluruh, dapat dilihat pada Gambar 2.1. Butiran ferrit secara keseleruhan terbentuk tanpa adanya karbon pada batas butir.



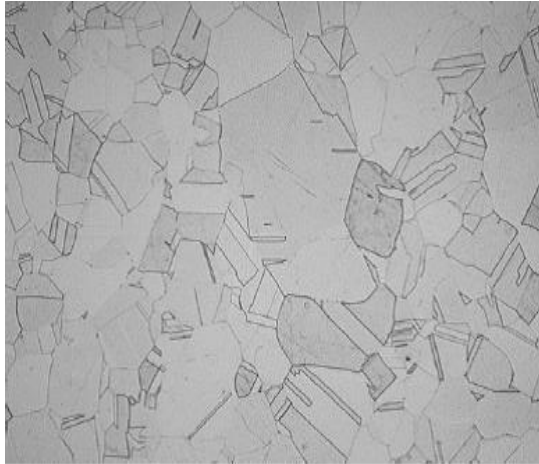
Gambar 2.1 Struktur Mikro Baja Karbon Rendah AISI 1006; Etsa Nital; Perbesaran 200x (ASM International, 2002)

2.2 Tembaga

Tembaga dengan struktur kristal *face-centered* tembaga yang memiliki sifat konduksi termal dan elektrik yang sangat baik. Sehingga banyaknya penggunaan tembaga sebagai paduan, terlebih sifat tembaga yang tahan korosi. Tembaga pun mudah untuk di fabrikasi menjadi plat, kawat, pipa, ataupun bentuk lainnya (CDA, 2010). Sifat fisik dan Struktur mikro dari tembaga murni dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan gambar 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Fisik Tembaga (CDA, 2010)

Sifat	Nilai	Satuan
Nomor Atom	29	
Densitas	8,92	g/cm^3
Titik Lebur	1083	$^{\circ}\text{C}$
Titik Uap	2592	$^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.2 Struktur Mikro Baja Tembaga Murni; Etsa Picral; (Kundig et al, 2006)

2.3 Baja High-Strength Low-Alloy

Baja High-strength low-alloy (HSLA) atau baja microalloyed merupakan sebuah rancangan dalam memperbaiki sifat mekanik dan memperbaiki sifat ketahanan korosi dibandingkan baja karbon biasa. HSLA tidak bisa disebut sebagai baja paduan biasa, karena HSLA dirancang agar memiliki sifat mekanik yang khusus (Baja HSLA biasanya memiliki kekuatan yield lebih dari 275 Mpa). Memiliki kadar Cr, Ni, Mo, Tembaga, N, V, Nb, Ti dan Zr yang kecil (ASM International, 2001).

Beberapa faktor yang menyebabkan terjadi perkembangan baja *microalloyed* di tahun 1960 adalah:

- a. Penghematan biaya;
- b. Pengembangan barang ringan;
- c. Dibutuhkan *pipeline* berkekuatan tinggi yang mudah di las sehingga memperluas pasar baja berkekuatan tinggi;
- d. Berkembangnya fabrikasi dengan teknologi pengelasan sehingga membutuhkan baja karbon rendah dan paduan yang mampu di las; dan

- e. Peningkatan kekuatan dengan yang diperoleh relatif murah, seperti Nb dan V yang tidak mudah teroksidasi oleh proses peleburan baja (Skobir, 2011).

Baja HSLA terbagi menjadi 6 kategori, yaitu:

- a. Weathering steels, mengandung elemen paduan yang kecil seperti Tembaga dan F untuk meningkatkan ketahanan korosi dan memperkuat secara solid-solution;
- b. Microalloyed ferrite-pearlite steels, secara umum kandungan paduan sangat kecil (dibawah 0.10%) untuk pembentuk karbida dan karbon nitrida seperti Nb, V, dan Ti dalam penguatan secara presipitasi dan penghalusan batas butir;
- c. As-rolled pearlitic steels, salah satunya baja karbon-mangan namun memiliki kandungan elemen lain untuk menambah kekuatan, ketangguhan, mudah pembentukan, dan mudah mampu las;
- d. Acitembagalar ferrite (low-carbon bainite) steels, dimana baja karbon rendah (dibawah 0,05% C) yang memiliki kombinasi sangat baik dari kekuatan yield (sekitar 690 Mpa), mampu las, mampu bentuk dan ketangguhan yang baik;
- e. Dual-phase steels, terdapat martensit yang tersebar dalam matriks ferit dan menimbulkan kombinasi yang sangat baik dari keuletan dan kekuatan tarik; dan
- f. Inclusion-shape-controlled steels, dirancang untuk memperbaiki keuletan dan ketangguhan dengan sedikit penambahan Ca, Zr, dan Ti sehingga bentuk inklusi sulfida yang semula memanjang berubah menjadi kecil, menyebar dan hampir berbentuk bulat.

Adapun aplikasi dari baja HSLA ini untuk pipa minyak dan gas, konstruksi, mesin pertanian, peralatan industri, jembatan, struktur off-shore, tangki penyimpanan, kapal keruk, tower listrik, tiang lampu, dan sebagainya. Penggunaan dari HSLA ini

dikarenakan sifat reduksi ketebalan, ketahanan korosi, mampu bentuk, dan mampu las (ASM International, 2001).

Pada baja HSLA unsur microalloying yang berperan dalam peningkatan sifat mekanisya. Mekanisme penguatan utama yang terjadi untuk baja HSLA adalah penghalusan butir akan tetapi tingkat kekuatan yang dipersyaratkan tercapai karena penguatan presipitasi tambahan dalam ferrit. Bertambahnya jumlah batas butir akan menghambat pergerakan dislokasi, sehingga dibutuhkan energi yang lebih banyak bagi dislokasi untuk melompat ke butir berikutnya. Butir ferrit yang halus didapatkan dari butir austenit yang halus sebelum transformasi pendinginan (Juristy, 2013).

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat diartikan sebagai suatu kombinasi antara pemanasan, proses pendinginan dan waktu yang dilakukan kepada logam atau paduannya dalam keadaan fasa solid dengan tujuan merubah sifat mekaniknya. Umumnya proses perlakuan panas yang dilakukan pada baja dilakukan dengan mentransformasikan fasanya hingga menjadi fasa austenit sebelum dilakukan pendinginan. Adapun proses pendinginan antara lain normalising, anil sempurna dan *quenching*.

2.4.1 Normalising

Proses ini dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur sedikit di atas temperatur kritis A3 dengan laju pendinginan lebih cepat dari annealing yaitu pendinginan dengan udara terbuka hingga mencapai temperatur kamar. Hasil proses normalising baja akan berbutir lebih halus, lebih homogen, menghilangkan regangan dan dislokasi akibat perlakuan sebelumnya (Callister, 2007).

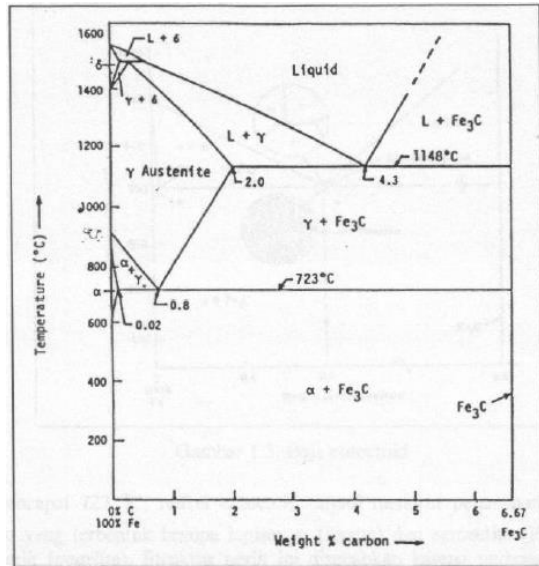
Normalisasi biasanya dilakukan terhadap baja karbon atau paduan rendah. Umumnya baja ini sangat lunak sehingga *machinability* kurang baik. Dengan proses normalisasi ini selain diperoleh butiran yang lebih halus struktur juga menjadi lebih homogen. Hal ini membuat baja akan memberi respon lebih baik terhadap proses pengerasan.

2.4.2 Anil Sempurna

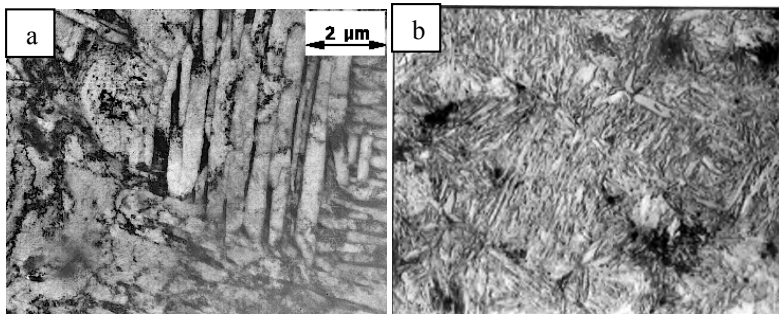
Proses ini dilakukan dengan memanaskan baja diatas temperatur kritisnya (550-650 °C) selama 1 jam. Pada tahap ini terjadi perubahan fase dari ferit menjadi austenit. Setelah proses perlakuan panas ini selesai, maka sampel didinginkan secara perlahan biasanya di dalam furnace dengan kurun waktu kurang lebih 38 jam. Hasil dari proses ini, baja akan memiliki struktur pearlit yang kasar. Proses ini menghasilkan baja yang lunak dan ulet tanpa ada internal stress (Thelning, 2000).

2.4.3 Quenching

Proses ini dilakukan dengan memanaskan baja di temperatur austenit (sekitar 900 °C), kemudian didinginkan secara cepat dengan menggunakan media air, minyak, atau udara. Proses ini membuat baja memiliki struktur martensit, keras, namun getas, dan kristal pun berubah menjadi BCT. Pendinginan cepat ini tidak berlangsung secara homogen antara permukaan dengan kondisi dalam pada baja. Muntembagalnya martensit ini tergantung pada, (1) Komposisi paduan; (2) Tipe dari media quench; dan (3) ukuran dan bentuk baja (Callister, 2007). Agar lebih jelasnya mengenai tiga proses tersebut, dapat dilihat digram fasa Fe-Fe₃C pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2007)



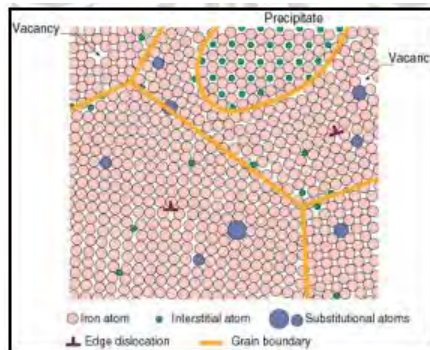
Gambar 2.4 (a) Struktur Mikro Bainit 0.40%C; (b) Struktur Mikro Martensit 0.35%C (Thelning, 2000).

Beberapa struktur yang didapat dari Gambar 2.4 untuk kondisi yang *non-equilibrium*/ pendinginan yang tidak semestinya seperti quenching. Struktur tersebut di antaranya adalah martensit,

bainit, sorbit dan trostit Adapun Gambar struktur-struktur tersebut ditampilkan pada Gambar 2.4.

2.5 Mekanisme Penguatan

Mekanisme penguatan yang terjadi pada baja memiliki hubungan antara gerak dislokasi dan perilaku mekanik. Dengan mengurangi pergerakan dislokasi, kekuatan mekanik dapat ditingkatkan, dimana disebabkan energi mekanik yang dibutuhkan untuk membuat deformasi plastik akan semakin besar. Sebaliknya apabila pergerakan dislokasi tidak ada yang menahan, logam akan mudah terdeformasi. Secara umum mekanisme penguatan yang terjadi pada logam adalah penguatan pada logam, penguatan larutan padat, penguatan presipitat, dan penguatan batas butir. Ilustrasi dari mekanisme penguatan yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Mekanisme Penguatan Logam

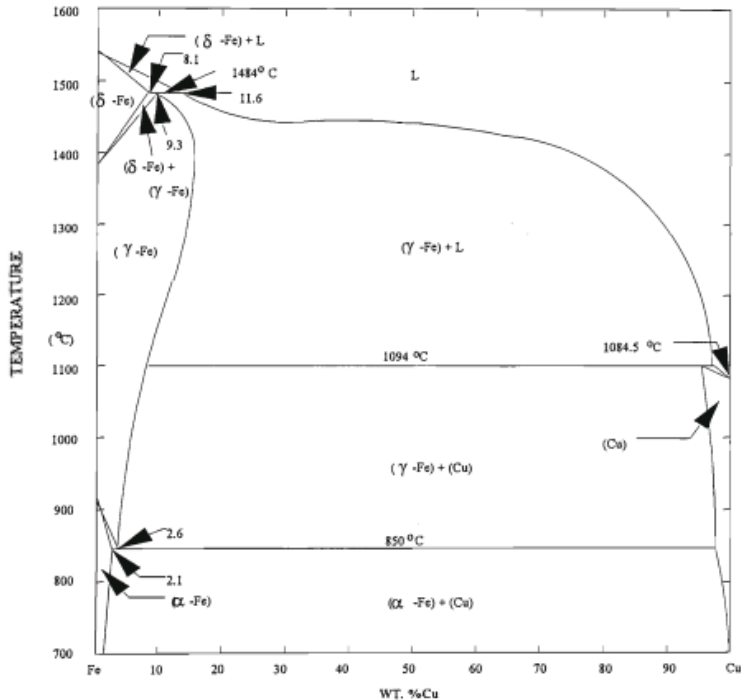
Pada baja, penghalusan batas butir adalah metode yang paling diinginkan karena efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi di sekitar batas butir. Dengan mengecilnya batas butir per unit volume dan mengurangi garis edar bebas dari slip yang berkelanjutan. Struktur butir dengan kehalusan tinggi pada material baja dapat diperoleh dengan kombinasi dari perlakuan panas dan pendinginan terkendali serta pengaruh penambahan

paduan (Callister, 2007). Penghalusan butir merupakan salah satu metode penguatan pada saat penambahan paduan (Wilson, 1990; Callister, 2000).

2.6 Pengaruh Tembaga dalam Baja

Kadar Tembaga yang berada dalam baja senantiasa harus dikontrol, karena Tembaga dapat menyebabkan distorsi pada mikrostruktur. Meskipun Tembaga memberikan keuletan, dan ketahanan korosi namun harus dikontrol pada batas tertentu (Sekunowo, et al. 2014). Pengecilan butir akan terjadi jika adanya penambahan Tembaga (Juristry, 2013). Terbentuknya presipitat tembaga dalam baja merupakan fenomena yang potensial untuk mendapatkan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan. Berbeda dengan baja berkekuatan tinggi yang berasal dari presipitat lain seperti karbida dan nitrida, dikarenakan hanya merubah kekuatan. Dilihat dari mikrostruktur dari tembaga-Fe dengan aging, maka yang terbentuk adalah ferit dan retained-austenit. Presipitat tembaga tersebut meningkatkan munculnya retained-austenit sehingga menyebabkan perubahan pada kekuatan dengan precipitate-strengthening tanpa hilang elongasi (Zhou, et al. 2004). Fasa-fasa yang terbentuk pada paduan tembaga-Fe dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Diagram fasa tembaga-Fe pada Gambar 2.6 menunjukkan bahwa ada tiga reaksi yang dapat terjadi dalam sistem binari tembaga-Fe. Reaksi peritektik di temperatur 1484 °C dan 1094 °C dan reaksi eutektoid di temperatur 850 °C. Hasil dari reaksi eutektoid merupakan Tembaga- α dengan fasa *face-centered cubic* (FCC). Kelarutan maksimum dari tembaga didalam Fe (α) sebesar 2,1% pada temperatur 850 °C. Turunnya jumlah kelarutan tembaga pada temperatur ruangan dikarenakan terjadi penguatan presipitasi, sehingga hanya mampu larut sebanyak 0,4%.



Gambar 2.6 Digram Fasa Fe-Tembaga

2.6 Difusi

Perlakuan pada material bergantung pada transfer massa, baik dalam padatan tertentu (biasanya dalam tingkat mikroskopis) atau dari liquid, gas, atau fase solid lainnya. Hal ini dapat dicapai dengan difusi, fenomena transport material oleh pergerakan atomik.

2.6.1 Mekanisme Difusi

Mekanisme ini dalam skala atomik hanya sekedar perpindahan atau pergerakan atom antar lattice. Syarat terjadinya difusi yaitu: (1) harus adanya kekosongan atau vakansi di daerah terdekat, dan (2) atom harus memiliki energi yang tembakapuk untuk melepaskan ikatan dengan atom terdekat dan terjadi distorsi

lattice saat perpindahan. Beberapa contoh untuk mensimulasikan difusi metalik:

- **Difusi vakansi**

Tipe difusi pertama ini mengharuskan adanya kekosongan dan akan semakin meningkat dengan jumlah *defect* dalam *lattice*.

- **Difusi intersisi**

Tipe difusi kedua melibatkan atom berpindah dari posisi intersisi ke daerah intersisi yang kosong. Mekanisme ini biasanya ditemukan pada penambahan oksigen, hidrogen karbon, dan nitrogen karena ukuran atom yang cukup kecil untuk menempati posisi intersisi.

2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Difusi

Beberapa faktor yang mempengaruhi difusi antara lain:

- a. **Sampel yang berdifusi**

Besar koefisien difusi, D sebagai indikasi laju atom berdifusi. Sampel yang berdifusi dan material yang akan menjadi wadah difusi mempengaruhi koefisien difusi.

- b. **Temperatur**

Temperatur memiliki dampak yang sangat penting pada koefisien dan laju difusi. Hubungan antara koefisien difusi dengan temperatur dapat dituliskan dengan persamaan:

2.6.3 Perilaku Difusi Tembaga dalam Baja

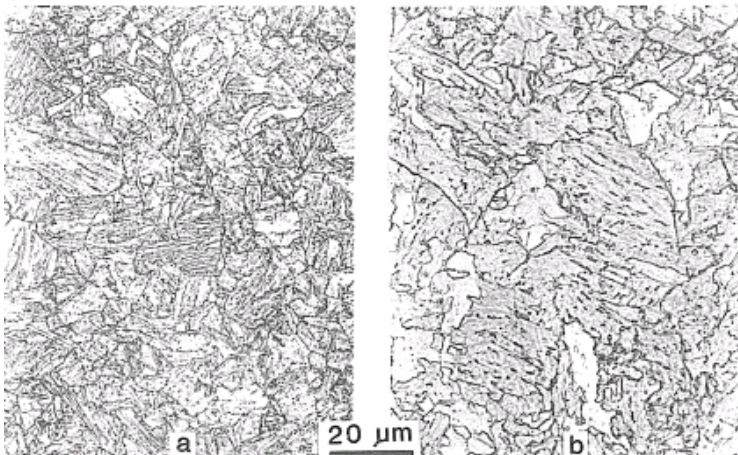
Difusi tembaga cair dengan padatan baja memungkinkan untuk dilakukan. Hal ini dapat terjadi dengan mekanisme tertentu. Tiga mekanisme difusi untuk fenomena ini antara lain: (1) tembaga berdifusi ke dalam baja sepanjang batas butir ferit, (2) tembaga berdifusi ke dalam butir ferit, dan (3) Fe yang berdifusi ke dalam lapisan tembaga (Xu et al., 1993).

2.7 Penelitian Sebelumnya

Metode-metode ini berkaitan dengan terdifusinya tembaga pada baja, untuk meningkatkan sifat-sifat baja, karakterisasi, dan sebagainya.

2.7.1 Perilaku Aging sebagai Presipitasi Tembaga

Wilson et al, melakukan penambahan tembaga sebagai paduan pada baja ditambahkan perilaku aging dan termomekanik agar memperbaiki sifat mekanik baja tersebut. Baja yang digunakan berjenis HSLA-80/ 100, digunakan pula perilaku pendinginan cepat. Penggunaan baja karbon rendah (0,04 %C) bukan berarti tidak bisa mendapatkan sifat mekanik yang baik, mengatur laju pendinginan yang digunakan, sehingga diperoleh struktur mikro seperti proeutectoid, bainit, dan martensit. Presipitasi yang terjadi berukuran 2-25 nm dan dianalisa menggunakan TEM. Struktur bainit dan martensit yang terjadi pada baja tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan 2.7. Sehingga, dari struktur mikro yang dimiliki dapat memperbaiki sifat mekanik dari baja.



Gambar 2.7 Struktur Mikro Baja HSLA-100; Etsa Nital (a) 0,06%C Martensit; (b) 0,04%C Bainit (Wilson, 1990).



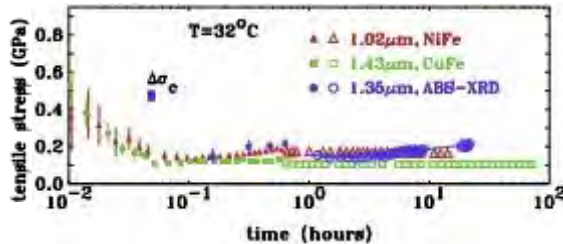
Gambar 2.8 Struktur Lath Martensit Pada 0,08%C (Ghosh, 2005).

Pada Gambar 2.9 struktur tersebut dapat pula terjadi pada baja karbon rendah. Struktur lath martensit ini terjadi dikarenakan laju pendinginan yang sangat cepat. Meskipun perlakuan sebelumnya dengan aging dan *thermomechanical process* (TMCP), namun laju pendinginan sangat berpengaruh hingga terbentuk struktur pada Gambar 2.9.

2.7.2 Pengaruh Waktu Terhadap Deposit Tembaga

Sharma et al, melakukan plating/ deposit untuk memperoleh sifat mekanik dan elektrik agar dapat digunakan untuk komponen elektronik. Dijelaskan bahwa waktu *plating* tembaga tidak berpengaruh terhadap ketebalan. Ketebalan plating/ deposit tersebut memiliki hubungan dengan sifat mekanik yang dimiliki. Plating/ deposit dilakukan dengan variasi logam Ni dan tembaga dan menggunakan elektrik pada temperatur 32 °C. Hasil yang didapat ditunjukkan pada Gambar 2.9. Terjadi korelasi antara ketebalan yang diperoleh dengan sifat mekanik terutama kekuatan tarik dari sampel. Semakin lama waktu deposit yang terjadi pada substrat metal, maka akan membuat kekuatan tarik meningkat. Namun, meningkatnya kekuatan tarik berbanding terbalik dengan ketebalan deposit Tembaga. Menurut Thelning (2000), jika terjadi reduksi area maka dapat meingkatkan kekerasan. Sifat kekerasan

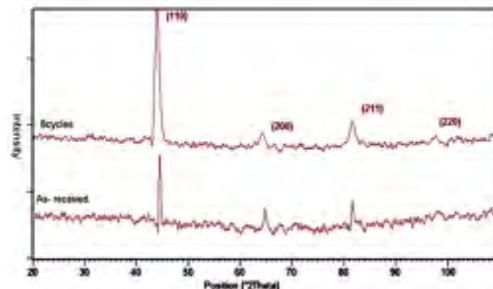
berbanding terbalik dengan kekuatan tarik. Sifat kekerasan ini dapat terlihat dari ukuran butir yang diperoleh.



Gambar 2.9 Pengaruh Waktu Celup terhadap Kekuatan Tarik Pada NiFe, TembagaFe, dan Acronitrile butadiene stiren (ABS) (Sharma, et al. 2014).

2.7.3 Pengecilan Butir

Dilakukan penelitian oleh Jusristry dengan mengamati distribusi butir ferit pada baja HSLA A572. Pengontrolan butir tersebut dilakukan dengan TMCP, sehingga terjadi deformasi dari sampel pada temperatur tinggi. Proses tersebut dilakukan dengan tiga tahap meliputi pemanasan ulang, deformasi panas, dan pendinginan. Diperoleh hasil bahwa, semakin besar % reduksi atau deformasi yang terjadi, maka butir ferit yang diperoleh semakin kecil. Butir ferit yang semakin kecil memiliki regangan yang besar dan nilai kekerasan paling tinggi.



Gambar 2.10 Hasil XRD Microalloying Ti-Nb dengan Actembagamulative Roll Bending (ARB) (Tohidi, 2013).

Menurut Tohidi (2013), ukuran butir pun dapat dipengaruhi karena pengaruh paduan dan dapat dianalisa jika menggunakan *x-ray diffraction* (XRD). Ketika terjadi penambahan paduan, maka grafik XRD akan menunjukkan adanya *peak brodening* (pelebaran puncak) sebagai respon dari perubahan regangan yang terjadi. Untuk penggambaran *peak broadening* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11.

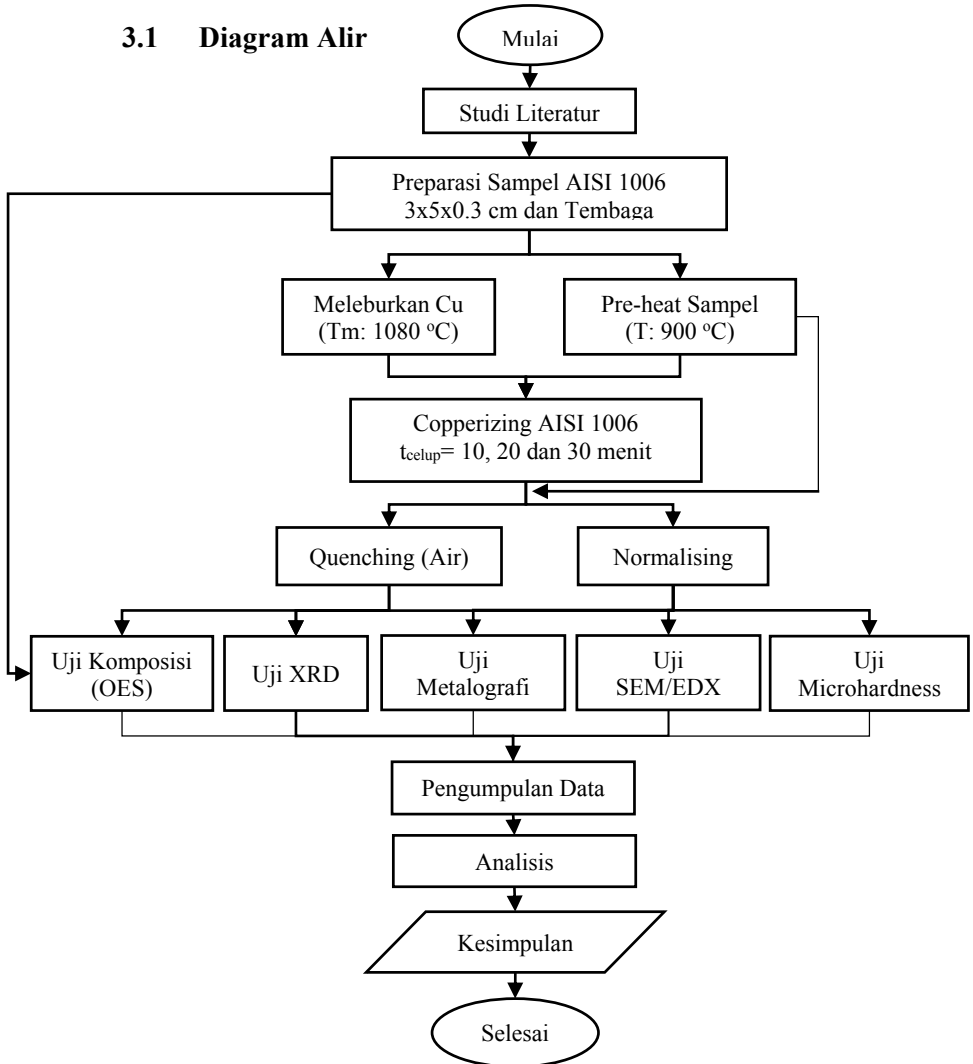
2.7.4 Erosi pada Logam cair

Pembentukan logam cair dikarenakan temperatur berada pada titik lebur dari logam tersebut. Logam cair khususnya tembaga biasa digunakan sebagai filler pada proses *Brazing Filler Metal* (BFM). Menyambungkan dengan teknik ini menyebabkan erosi pada *base metal*. Erosi merupakan pengurangan massa dengan waktu yang cepat. Erosi yang terjadi antara tembaga cair (filler) dengan *base metal* dikarenakan mencapai kondisi setimbang pada proses tersebut. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada proses erosi ini adalah, temperatur, waktu, dan jumlah. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka laju erosi pada logam cair pun semakin tinggi. Hal yang sama pun terjadi pada jika waktu *exposure* dan jumlah ditingkatkan. (AWS, 2008).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Studi ini memiliki beberapa tahapan. Gambar 3.1 menampilkan diagram alir penelitian. Studi dimulai dengan studi literatur *high strength low alloy steel* (HSLA) dari beberapa jurnal. Setelah itu dilakukan preparasi plat *plain carbon steel* dengan dimensi 3x5x0.3 cm dan tembaga sebagai bahan dalam penelitian ini. Plat yang telah di preparasi dipanaskan (pre-heat) dalam *muffle furnace* sampai temperatur 900 °C, dilakukan bersamaan dengan meleburkan tembaga menggunakan *vacuum furnace* pada temperatur 1080 °C. Setelah tembaga melebur dengan sempurna, plat dicelupkan ke dalam *vacuum furnace* dengan variasi waktu celup 10, 20, dan 30 menit, serta dilakukan variasi pendinginan dengan pendinginan normal dan cepat (quench). Sampel kemudian diuji komposisi (OES), X-Ray *Diffraction* (XRD), metalografi, dan SEM EDX, serta *microhardness*. Data dari hasil pengujian dianalisis lalu dibuat kesimpulan.

3.2 Metode Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan preparasi sampel dengan cara memotong dan menggosok permukaan dari material yang akan dicelup untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Setelah proses preparasi material selesai. Material plat dimasukkan kedalam *muffle furnace*, sedangkan tembaga dileburkan pada *vacuum furnace*. Metode pembuatan spesimen uji dilakukan dengan mencelup plat pada tembaga cair. Sampel yang telah dicelup kemudian di variasikan pendinginan. Hasil sampel tersebut akan di uji dengan menggunakan beberapa metode pengujian untuk menganalisis pengaruh waktu celup dan pendinginan pada sampel tersebut. Analisis yang dilakukan adalah analisis komposisi kimia menggunakan pengujian OES, analisis XRD, analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik, dan analisis SEM EDX menggunakan instrumen FEI INSPECT S50, serta analisis kekerasan dilakukan dengan *micro hardness testing machine Wilson Instrument* lalu dibandingkan dengan rentang kekerasan sesuai sampel kontrol.

3.3 Material

Material awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja karbon rendah AISI 1006, tembaga (Cu) 99,99% dan bahan etsa ASTM E407. Baja karbon rendah diperoleh dari scrap metal berbentuk plat dengan tebal 3 mm. Baja dipilih sebagai logam dasar dalam paduan ini karena dalam paduan ini mengandung sedikitnya 70% Fe. Selain itu kandungan karbon yang rendah pada baja dipilih untuk mentiadakan proses *carbon decarburization*. Baja karbon rendah ini didapatkan dari laboratorium metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Menganalisis struktur mikro hasil paduan, maka diperlukan cairan etsa. Dalam penelitian ini menggunakan bahan etsa ASTM E407 yang merupakan campuran dari HNO_3 dan methanol. Cairan etsa didapatkan dari CV. Sumber Ilmiah Persada.

3.4 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *vat tembaga furnace*, *muffle furnace*, krusibel grafit, gergaji, gelas ukur 250 ml, beaker glass, timbangan, kertas amplas, gergaji mesin, alat uji kekerasan, *Optical Emission Spectroscopy* (OES), XRD, mesin grinding & polishing, dan mikroskop metalurgi. *Vat tembaga furnace* ini digunakan untuk meleburkan tembaga yang akan dijadikan paduan. Furnace ini merupakan buatan sendiri, dengan menggunakan kawat Fe-Cr sebagai penghantar panas dari listrik. *Vacuum furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2. Wadah yang digunakan untuk meleburkan tembaga dan proses pencelupan adalah krusibel berbahan grafit. Ukuran krusibel yang digunakan sebesar 150 gram. Memotong bahan serta hasil paduan, diperlukan gergaji, dan gergaji mesin. Gelas ukur dengan kapasitas 250 ml digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa. Wadah untuk mencampur bahan etsa digunakan beaker glass. Mengukur massa tembaga yang akan dilebur digunakan timbangan elektrik dengan ketelitian hingga 0.01 gram. Kertas amplas dengan *grade* 80 hingga 2000 digunakan untuk *grinding* spesimen pada uji metalografi. Pada

penelitian ini menggunakan kertas amplas bermerk toho. Untuk mempermudah *grinding* dan *polishing* dalam uji metalografi, pada penelitian ini juga menggunakan mesin *grinding* dan *polishing* buatan jurusan teknik material dan metalurgi. Struktur mikro yang terdapat pada material paduan dapat dilakukan menggunakan mikroskop metalurgi ber-merk Olympus dengan perbesaran hingga 500x. Topografi dari sampel uji dapat dinalisis menggunakan analisis SEM EDX dengan instrumen FEI INSPECT S50. Menganalisis kekerasan pada hasil paduan, maka menggunakan mesin *Micro Hardness Tester Wilson Instrument* yang terdapat dalam jurusan teknik material dan metalurgi. Sedangkan untuk mengetahui komposisi paduan, digunakan alat OES yang terdapat pada politeknik negeri perkapalan Surabaya. Alat uji X-Ray Diffraction digunakan pada spesimen ini untuk mengetahui sistem kristal, struktur kristal, dan fasa-fasa yang terdapat dalam paduan. Mesin XRD yang digunakan bermerk PAN Analytical yang terdapat pada jurusan teknik material dan metalurgi.



Gambar 3.2 Tampak Depan *Vatembaum Furnace*

3.5 Prosedur Percobaan

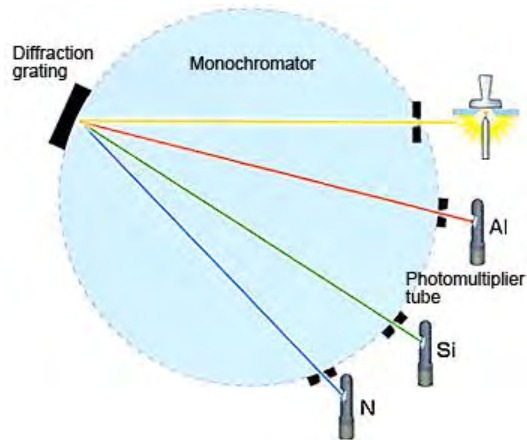
Preparasi spesimen dilakukan dengan memotong plat sebesar 3x5x0.3 cm, kemudian menggosok bagian permukaan dari plat menggunakan kertas gosok *grade* 80. Menimbang tembaga dengan alat timbang elektrik sebesar 1,8 kg sesuai kapasitas dari krusibel yang digunakan. Meleburkan tembaga pada *vacuum furnace* hingga temperatur 1080 °C dengan menginjeksikan gas Ar untuk meminimalisir terjadinya decarburisasi. Dilakukan secara bersama dengan memanaskan plat pada *muffle furnace* hingga temperatur 900 °C. Kemudian mencelupkan plat pada tembaga cair dengan variasi waktu calup selama 10, 20 dan 30 menit. Setelah itu, memberikan variasi pendinginan pada sampel dengan pendinginan normal dan cepat (*quech*) media air. Hasil tersebut dilanjutkan dengan beberapa pengujian untuk mendapatkan data-data agar dapat dianalisis.

3.6 Proses Pengujian

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi oleh OES, Pengujian metalografi untuk melihat strukturmikro. Hardness test untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

3.6.1 Pengujian OES

Pengujian OES, *Optical Emission Spectroscopy*, adalah pengujian yang melibatkan dan menerapkan energy listrik dalam bentuk percikan yang dihasilkan antara elektroda dan sampel logam, dimana atom menguap dibawa ke keadaan energy tinggi yang disebut *discharge plasma*. Atom-atom yang tereksitasi dan *discharge plasma* membuat spectrum emisi yang unik dan khusus untuk setiap elemen, seperti yang ditunjukkan di Gambar 3.4. Dengan demikian satu elemen menghasilkan banyak emisi karakteristik garis spectrum.



Gambar 3.3 Prinsip kerja OES (shimadzu.com)

Oleh karena itu, cahaya yang dihasilkan oleh pancaran elektron dapat dikatakan koleksi dari garis spectrum yang dihasilkan oleh unsur-unsur dalam sampel. Cahaya ini dibagi oleh kisi difraksi untuk mendapatkan spectrum emisi dari target sampel. Intensitas dari setiap spectrum emisi bergantung pada konsentrasi elemen di dalam sampel. Detektor menghitung seberapa banyak spectrum yang didapatkan dari setiap elemen dan intensitas dari setiap spectrum untuk melakukan analisis kualitatif dan kuantitatif elemen.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi dari sampel hasil penelitian. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Negeri Perkapalan Surabaya, dengan melakukan penembakan sebanyak 3 kali.

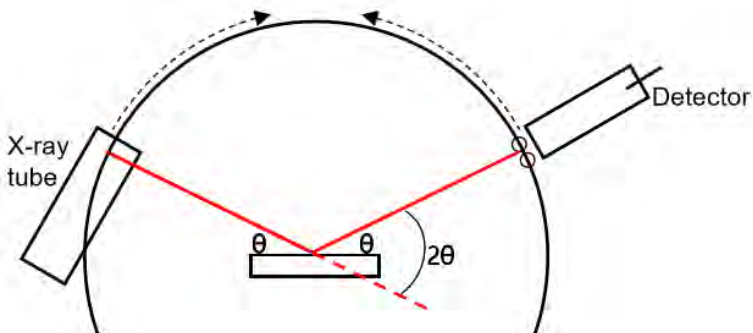
3.6.4 Pengujian XRD

XRD (X-ray Diffractometer) merupakan salah satu alat pengujian material yang biasanya digunakan untuk identifikasi unsur atau senyawa (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi (analisis kuantitatif). Analisis yang dilakukan berhubungan dengan

alat ukur yang lain misalnya SEM ataupun TEM. Pengamatan dengan mikroskop akan menjelaskan bagaimana distribusi fasa yang teridentifikasi berdasarkan hasil XRD.

Pengujian XRD memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Secara umum prinsip kerja XRD dapat dilihat pada Gambar 3.4. Generator tegangan tinggi berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian x-ray tube. Sampel berbentuk serbuk yang telah dimampatkan diletakkan diatas wadah yang dapat diatur posisinya. Lalu berkas sinar-X ditembak ke sampel dan didifraksikan oleh sampel, masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh detector dan diterjemahkan dalam bentuk kurva.

Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Fe-Tembaga yang sudah terbentuk selama proses *copperising*. Adapun kemungkinan fasa yang akan muntembagal adalah Ferrit (α) hal ini karena pengaruh jumlah karbon yang sangat rendah. Dalam penelitian ini, digunakan software highscore dan JCPDF win untuk mengetahui dan menganalisa *peak* hasil XRD.



Gambar 3.4 Skema Kerja XRD (D. M. Moore and R. C. Reynolds, 1997)

Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan

lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena kesamaan fasa. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS menggunakan mesin PAN Analytical XRD. Filamen yang digunakan adalah tembaga (Tembaga) dengan arus 30 mA, dan voltase 40 kV. Sampel yang diuji memiliki dimensi maksimum ketebalan 3 mm.

3.6.2 Pengujian Metalografi

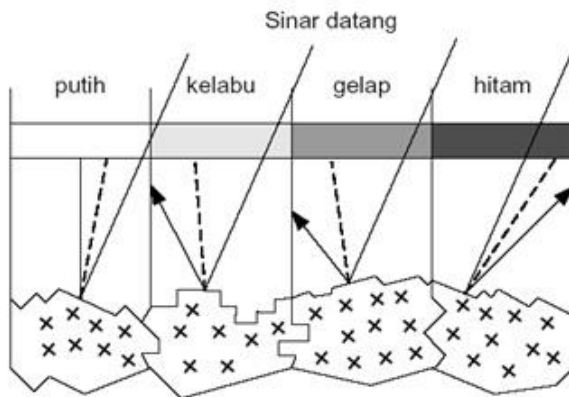
Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Hal ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Pada penelitian ini perbesaran yang digunakan yaitu 5-50 kali perbesaran lensa objektif.

Penyelidikan mikrostruktur tersebut berkisar antara 10^{-6} cm (batas kemampuan elektron mikroskop hingga 10^{-2} cm batas atas kemampuan mata manusia). Meskipun daerah lingkup pengamatan metalografi ini mencakup suatu daerah yang luas (10^{-6} - 10^{-2} cm) namun demikian obyek pengamatan yang biasanya digunakan yaitu 10^{-5} cm atau order pembesaran 5.000 – 30.000 kali untuk mikroskop elektron dan 10^{-3} cm atau order pembesaran 100 – 1000 kali untuk mikroskop optis.

Pengamatan Metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (polish) kemudian di etsa dengan larutan kimia, maka

permukaan logam tersebut akan dilarutkan. Struktur mikro yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah di test maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena pantulan.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur mikro yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikronya. Pengamatan ini dilakukan menggunakan alat mikroskop optik Olympus BX51M-RF, sedangkan larutan etsa yang digunakan sesuai ASTM E-407 yaitu menggunakan nital. Mekanisme sinar datang pada pengujian metalografi di tunjukkan pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Alur Pantul Sinar Pada Metalografi (, ASTM E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens, 1992)

1.6.3 *Pegujian Scanning Electron Microscope*

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati topografi dari permukaan penampang melintang spesimen uji hasil *copperizing*,

dan persebaran tembaga yang didifusikan ke dalam baja AISI 1006. Prinsip yang sama dengan pengujian metallografi, namun untuk pengujian SEM ini dapat melihat persebaran tembaga. Tipe mesin yang digunakan untuk pengujian SEM EDX adalah FEI INSPECT S50 di jurusan teknik material dan metalurgi ITS. Pada pengujian ini akan melihat topografi sehingga digunakan detektor *secondary electron* dengan parameter adalah pengamatan bagian tepi perbesaran 1000x.

3.6. Pengujian Microhardness

Pengujian microhardness merupakan salah satu bentuk uji kekerasan. Microhardness diperlukan untuk memastikan kekerasan pada suatu fasa, sehingga dapat dipastikan nilai kekerasan dari setiap fasa yang tampak di struktur mikro. Pengujian microhardness yang dilakukan menggunakan kekerasan Vicker, sehingga mempunyai cakupan yang kecil untuk material yang terbilang keras. Pengujian microhardness dilakukan menggunakan mesin bermerk *Wilson Instrument* dan dilakukan sesuai dengan standar ASTM E92. Pembebanan yang diberikan sebesar 1 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan diameter indentasi yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 3.2.

$$HV = 2P \sin \frac{\alpha}{2} = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (3.2)$$

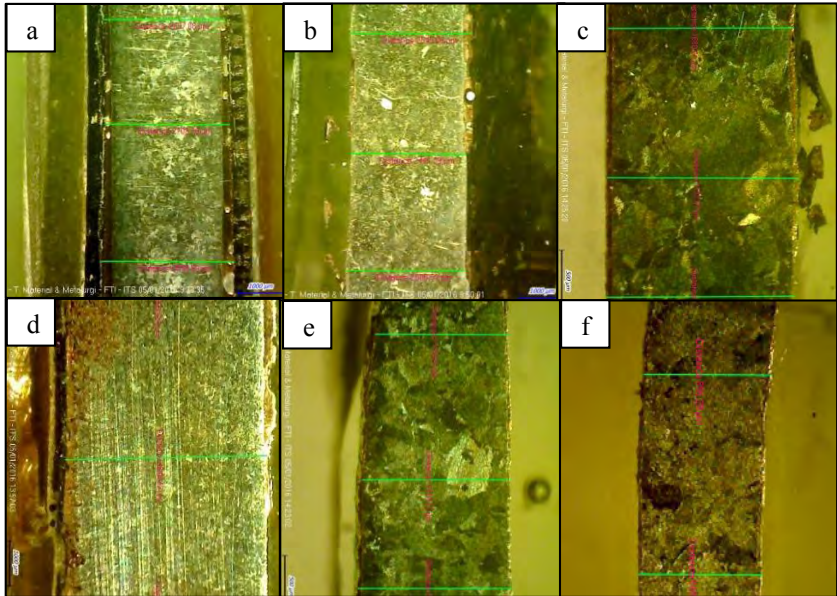
Dengan P adalah pembebanan dalam satuan kgf, D adalah diameter rata-rata indenter dalam satuan μm .

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil

IV.1.1 Pengamatan Makro

Pengamatan makro dilakukan untuk melihat perubahan dimensi yang terjadi pada sampel uji sebelum dan sesudah percobaan. Pengamatan visual ini dilakukan menggunakan alat mikroskop stereo Carl Zeiss dari seluruh spesimen disajikan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Pengamatan Makro Penampang Spesimen Pada Pendinginan *Normalizing* , dengan Waktu Celup (a) 10 menit, (b) 20 menit, dan (c) 30 menit dan Pendinginan *Quenching*, dengan Waktu Celup (d) 10 menit, (e) 20 menit, dan (f) 30 menit.

Ketebalan dari seluruh sampel yang telah diamati pada Gambar 4.1 dapat dibandingkan dengan hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ketebalan Sampel dan Tembaga setelah *Copperizing*

Pendinginan	Immersing Time (mnt)	Tebal Total (mm)	Tebal Tembaga (mm)
<i>Normalizing</i>	10	2,63	0,157
	20	2,47	0,149
	30	1,72	0,047
<i>Quenching</i>	10	2,76	0,109
	20	1,25	0,028
	30	0,86	0,015

Menurut data yang disajikan pada Tabel 4.1, telah terjadi reduksi ketebalan dari sampel uji. Reduksi atau pengurangan ketebalan yang terjadi sebanding dengan waktu celup. Pada pendinginan normal dengan waktu celup 10 menit, 20 menit, dan 30 menit terjadi reduksi ketebalan sebesar 12,33%, 17,67%, dan 42,67%. Pada pendinginan cepat (quench) dengan waktu celup yang sama, terjadi reduksi ketebalan sebesar 8%, 58,33%, dan 71,33%. Reduksi ini terjadi dikarenakan erosi dari tembaga cair. Erosi ini terjadi dikarenakan waktu *exposure* antara tembaga cair dan plat uji tembaga cukup lama, sehingga terjadi erosi tanpa menyebabkan reaksi redoks dan juga produk erosi tersebut larut pada tembaga cair tersebut (AWS, 2007).

IV.1.2 Komposisi Unsur

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui perubahan komposisi unsur yang terjadi selama penelitian. Analisis komposisi unsur menggunakan instrument OES Spectrometer. Komposisi unsur dari sampel kontrol ditunjukkan pada Tabel 2.1, sedangkan untuk komposisi unsur sampel hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, telah terjadi perubahan komposisi untuk setiap parameter pengujian. Tidak ada perubahan yang signifikan jika

melihat Tabel 4.2, terutama untuk kadar tembaga yang dihasilkan setelah dilakukan pengujian.

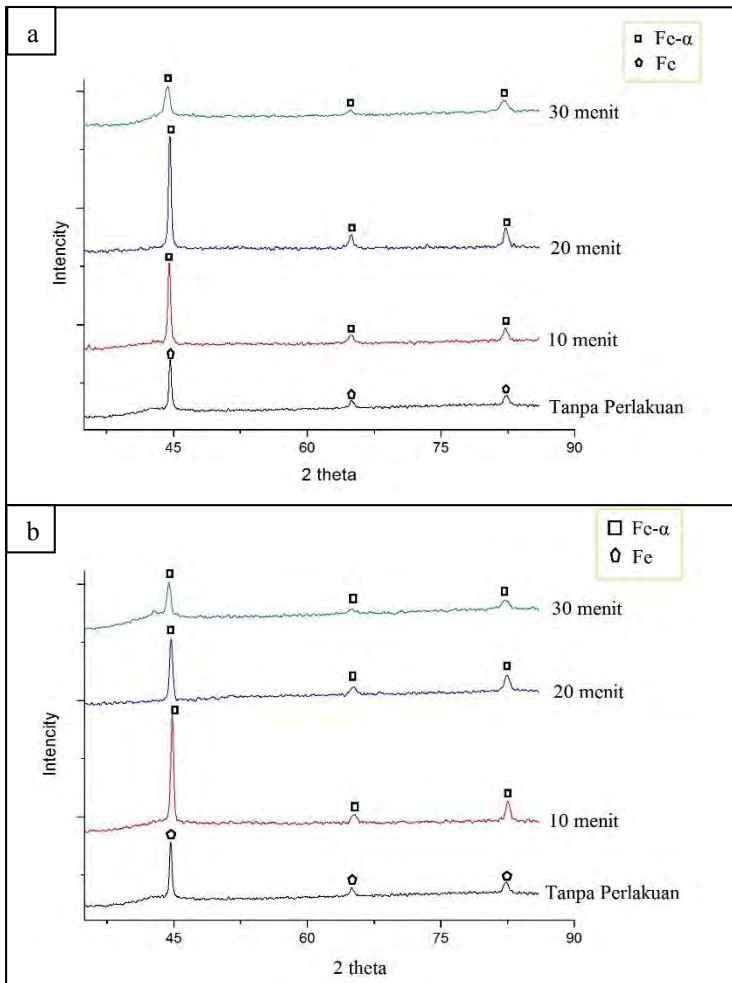
Tabel 4.2. Komposisi Kimia Sampel Uji

Pendinginan	Immer sing Time (mnt)	Unsur (%)				
		Fe	C	Cu	Mn	Si
<i>Normalizing</i>	10	99,2	0,09	0,06	0,22	0,03
	20	98,1	0,23	0,03	0,48	0,18
	30	99,3	0,14	0,06	0,23	0,02
<i>Quenching</i>	10	99,4	0,06	0,05	0,21	0,02
	20	99,0	0,15	0,44	0,20	0,02
	30	99,4	0,09	0,04	0,22	0,02

Komposisi tembaga pada setiap pengujian mengalami fluktuatif. Komposisi tembaga pada pendinginan normal dengan waktu celup 10 menit, 20 menit dan 30 menit sebesar 0,06%, 0,03% dan 0,06%. Sedangkan komposisi tembaga pada pendinginan *quench* dengan parameter waktu celup yang sama diperoleh sebesar 0,05%, 0,44% dan 0,04%. Terjadi perubahan kadar tembaga pada pendinginan *quench* dengan waktu *immerse* 20 menit. Perubahan ini terjadi dikarenakan tingkat kebersihan dari sampel sebelum dilakukan pengujian.

IV.1.3 Analisis XRD

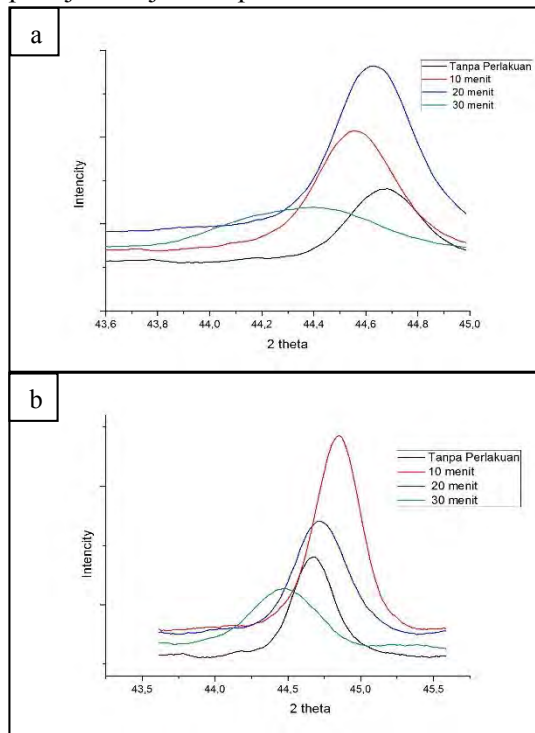
Karakterisasi XRD memberikan informasi dari sampel berupa jenis fasa, kualitas fasa, dan juga ukuran kristal dari fasa tersebut. Dari data yang dihasilkan dapat dibandingkan antara sampel awal dengan sampel hasil pengujian. Hasil XRD juga menggambarkan persebaran fasa yang terjadi pada sampel uji. Pola spektrum dari sampel awal dan sampel uji ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektrum XRD pada *Copperized* Pendinginan (a) Normal; (b) *Quench*

Pada Gambar 4.2 terdapat sampel kontrol (tanpa perlakuan) dengan sudut difraksi 44,6; 64,9; dan 82,3. Jika dari hasil analisis XRD untuk sampel awal hanya dapat menunjukkan fasa Fe,

sedangkan dengan komposisi sampel tersebut memiliki kadar C max 0,08% dan tembaga 0,036%. Hasil spektrum XRD untuk sampel kontrol dan uji sama sekali tidak menunjukkan fasa selain fasa Fe dan Fe- α . Rentang antara fasa sampel kontrol dengan sampel uji sebesar $\pm 0,2$. Penggunaan rentang adalah sebagai batasan untuk memastikan fasa yang terbentuk adalah Fe- α . Jika dilihat spektrum yang diperoleh terjadi pelebaran *peak* (*peak broadening*) pada setiap spektrum XRD dari hasil sampel uji. Pelebaran *peak* dari sampel uji ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pelebaran *Peak* Pada Pendinginan (a) *Normalizing* dan (b) *Quenching*

Pelebaran *peak* yang ditunjukkan Gambar 4.3 sudah dapat dianalisis dari Gambar 4.2 karena sudah menunjukkan pelemahan intensitas dari fasa Fe dengan sudut difraksi $\pm 44,2 - 44,6$. Setiap sampel uji mengalami pelebaran *peak* yang berakibat pada regangan mikro (*microstrain*) dari fasa tersebut (Tohidi, 2012). Terjadi pula pergeseran 2θ , namun masih dalam rentang fasa Fe. Pergeseran 2θ ini tidak menunjukkan data lain dikarenakan tidak membentuk fasa baru. Data regangan yang terjadi pada fasa Fe- α dari masing-masing parameter ditunjukkan pada Table 4.3.

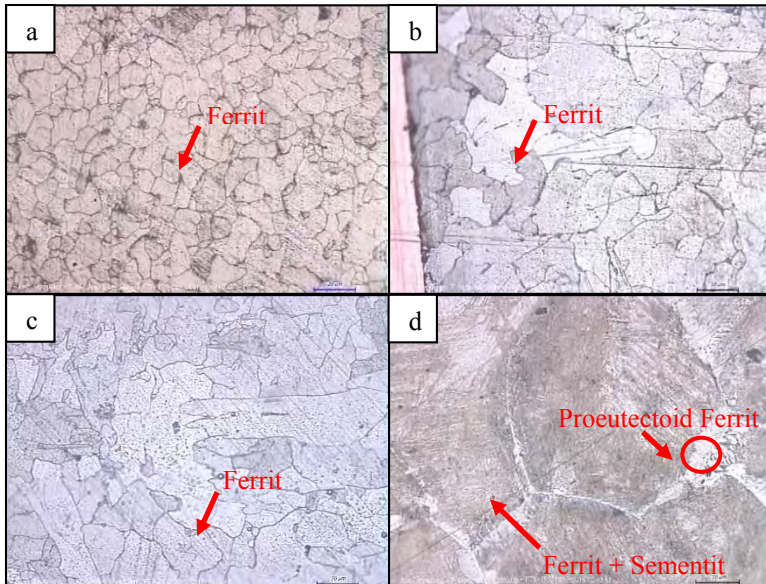
Tabel 4.3 Regangan Sampel Uji

Pendinginan	Waktu Celup (mnt)	FWHM (Bm)	Peak (2θ)	Pelebaran Peak (B) (10^{-4})	Regangan (ϵ) (10^{-4})
Normal	10	0,1004	44,500	2,3	2,3
	20	0,1020	44,587	9,56	2,43
	30	0,1673	44,489	25,03	6,37
<i>Quench</i>	10	0,1171	44,874	13,87	3,48
	20	0,1171	44,672	13,87	3,51
	30	0,4015	44,466	68,41	17,4

Dari Tabel 4.3 diperoleh adanya peningkatan atau pembesaran regangan dari seluruh parameter. Regangan terbesar didapatkan dengan pendinginan normal dan *quench*, serta waktu celup 30 menit sebesar $6,37 \times 10^{-4}$ dan $17,4 \times 10^{-4}$.

IV.1.4 Pengamatan Mikro

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada sampel uji. Sehingga dapat diketahui perubahan yang terjadi setelah *copperized* dengan variasi pendinginan. Perubahan struktur mikro yang terjadi ditampilkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

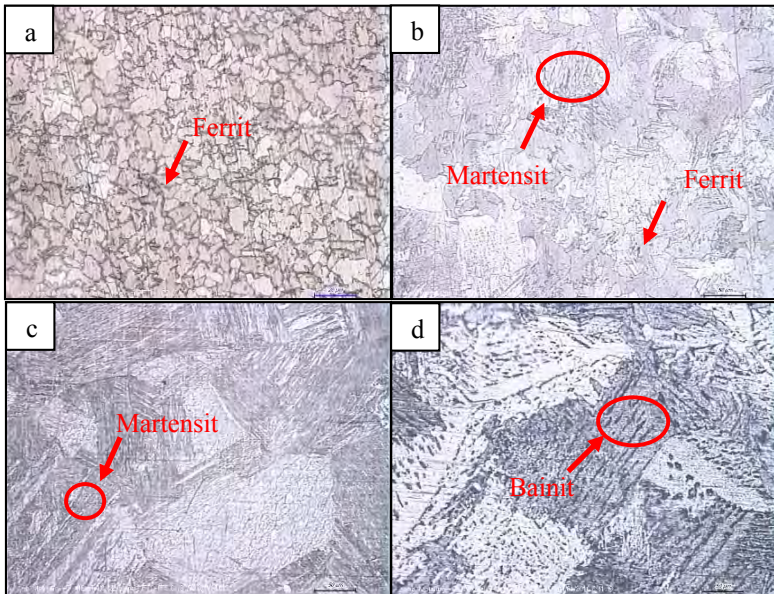


Gambar 4.4 Struktur Mikro Pendinginan Normal Perbesaran 200x (a) Tanpa Perlakuan; *Copperized* (b) 10 menit; (c) 20 menit; dan (d) 30 menit

Pada Gambar 4.4. (a) sampel tanpa pencelupan akan menghasilkan struktur mikro yang secara keseluruhan ferrit. Sama halnya dengan Gambar (b) dan (c) dengan struktur mikro ferrit, namun berbeda untuk ukuran butir (Thelning, 2000). Sedangkan Gambar (d) menghasilkan struktur mikro proeutectoid ferrit (Tamura, 1988). Proses terbentuknya struktur ferrit baik dengan pendinginan normal ataupun pendinginan cepat dikarenakan kelarutan maksimum dari karbon sebesar 0,025%. Terbentuknya struktur proeutectoid ferrit, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4 (d). Pada kadar karbon yang lebih tinggi (0,14%) sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.2. Komposisi pada Fe-Cu berada pada daerah hypoeutectoid, sehingga pola dekomposisi austenit diawali dengan terbentuknya α -primary atau proeutectoid.

Pada proses pendinginan/ penurunan temperatur, γ (austenit) akan bertransformasi menjadi α -primary ketika

temperatur sudah mencapai fasa $\alpha+\gamma$. (Callister, 2007). Untuk melihat pengaruh Gambar 4.4 terhadap kekerasan dapat dilakukan dengan membandingkan ukuran butir dari masing-masing struktur mikro yang didapatkan. Hal tersebut dapat dilakukan terhadap Gambar 4.5, dengan mengetahui ukuran butir maka akan mempengaruhi sifat mekanik yang dimiliki dari sampel uji.



Gambar 4.5 Struktur Mikro Pendinginan *Quench* Perbesaran 200x (a) Tanpa Perlakuan; *Copperized* (b) 10 menit; (c) 20 menit; dan (d) 30 menit.

Pada Gambar 4.5 (a) memiliki struktur mikro ferrit, sedangkan untuk (b) memiliki struktur mikro ferrit dengan martensit halus. Untuk Gambar 4.5 (c) memiliki struktur mikro martensit (Ghosh, 2005) dan Gambar (d) memiliki struktur mikro bainit (Thelning, 2000). Proses terbentuknya martensit dikarenakan pendinginan yang cepat (*rapid cooling*) yang bermula dari zona γ (austenit), kemudian menyentuh martensit *start* (Ms).

Pendinginan ini menyebabkan atom berubah menjadi BCT (Body Centered Tetragonal) dikarenakan struktur terdistorsi dan tidak dapat terjadi difusi, sehingga struktur yang terbentuk seperti jarum-jarum. Sedangkan proses terbentuknya bainit sama dengan martensit, yang membedakan hanyalah struktur BCT ini masih mampu mendifusikan atom-atom. Sehingga pada struktur bainit meskipun terjadi distorsi, namun tidak berbentuk seperti jarum.

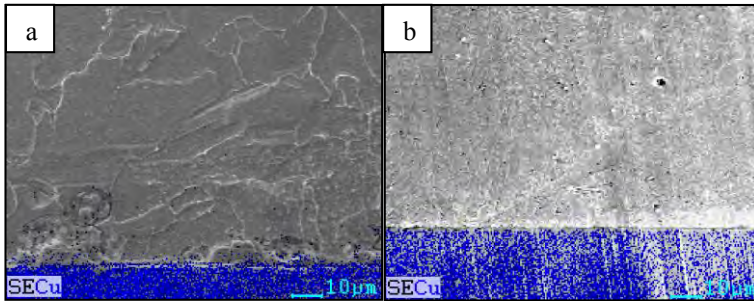
Melihat gambar struktur mikro yang diperoleh, hanyalah Gambar 4.4 (a), (b), dan (c) serta Gambar 4.5 (a), dan (b) yang dapat dilakukan perhitungan ukuran butir. Ukuran butir didapatkan dengan menggunakan metode Heyn-Intercept pada standar ASTM E-112. Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh ukuran butir untuk Gambar 4.4 (a) sebesar $3047,12 \mu\text{m}^2$, (b) sebesar $15229,88 \mu\text{m}^2$, dan (c) sebesar $3767,46 \mu\text{m}^2$. Sedangkan untuk Gambar 4.5 (a) diperoleh ukuran butir $1158,01 \mu\text{m}^2$ dan (b) memiliki ukuran butir sebesar $866,436 \mu\text{m}^2$. Ukuran butir yang diperoleh dari seluruh sampel uji, baik dengan pendinginan normal ataupun cepat mengalami reduksi. Reduksi/ pengecilan ukuran butir dikarenakan adanya penambahan paduan (Wilson, 1990).

IV.1.5 Pengujian SEM EDX

Hasil pengujian SEM EDX yang dilakukan pada potongan melintang, dengan perbesaran 1000x bagian tepi. Hasil ini dibedakan untuk parameter pendinginan normal dan *quench*. Hasil pengujian ini menggambarkan topologi permukaan sampel uji dan persebaran atom tembaga.

a. *Copperizing* dengan Pendinginan Normal

Gambar hasil *mapping* tembaga pada spesimen baja AISI 1006 setelah *copperizing* dengan pendinginan normal ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Hasil *Mapping* Tembaga (Cu) Pada Spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* (a) 10 menit, (b) 30 menit; pendinginan normal; Bagian Tepi Perbesaran 1000x

Komposisi fasa hasil uji SEM EDX untuk spesimen baja AISI 1006 dengan pendinginan normal ditunjukkan pada Tabel 4.4

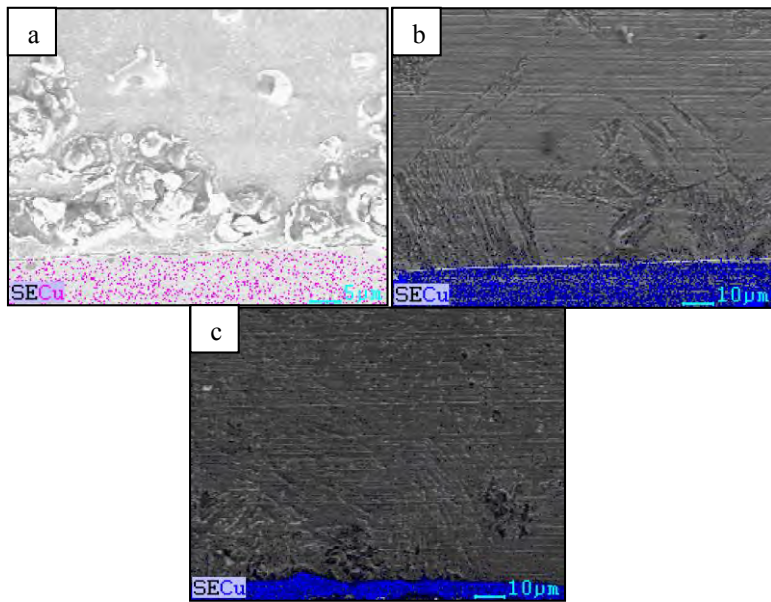
Tabel 4.4 Komposisi Fasa Hasil SEM EDX untuk Spesimen Baja AISI 1006 Pendinginan Normal

Waktu Celup	Element					
	CK		FeK		CuK	
	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
10	10.78	36.41	75.38	54.75	13.84	08.84
30	13.91	37.84	60.69	35.52	16.52	08.49

Hasil *mapping* terlihat bahwa tembaga membentuk lapisan dipermukaan. Beberapa tembaga masuk ke Fe, namun dengan jumlah yang sangat sedikit dan tidak sampai ke dalam. Kadar tembaga yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 cukup besar, dan kadar yang ditunjukkan bukanlah persebaran tembaga didalam substrat Fe.

b. Copperizing dengan Pendinginan Quench

Gambar hasil *mapping* tembaga pada spesimen baja AISI 1006 setelah *copperizing* dengan pendinginan quench ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Hasil *mapping* tembaga (Cu) menggunakan SEM EDS pada spesimen baja AISI 1006 copperizing (a) 10 menit, (b) 20 menit, dan (c) 30 menit; pendinginan *quench*; bagian tepi perbesaran 1000x

Komposisi fasa hasil uji SEM EDX untuk spesimen baja AISI 1006 dengan pendinginan normal ditunjukkan pada Tabel 4.5

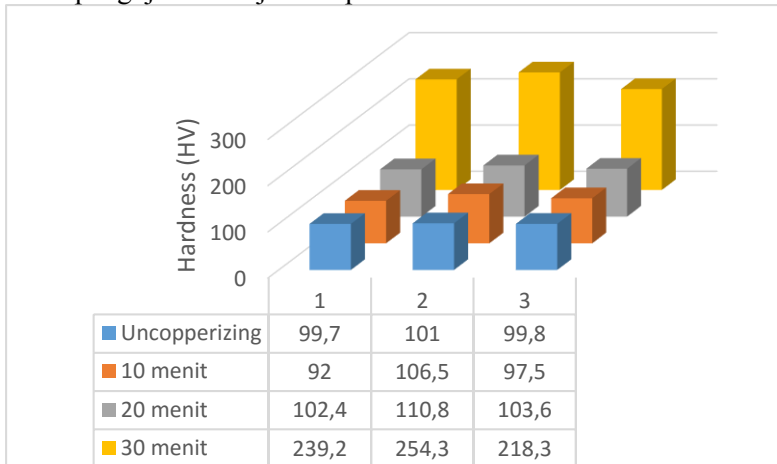
Tabel 4.5 Komposisi Fasa Hasil SEM EDX untuk Spesimen Baja AISI 1006 Pendinginan *Quench*

Waktu Celup	Element					
	CK		FeK		CuK	
	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
10	03.48	11.56	72.76	52.02	11.87	07.46
20	25.52	61.83	64.50	33.60	09.98	04.57
30	21.53	56.05	78.47	43.95	00.00	00.00

Hasil *mapping* terlihat bahwa tembaga membentuk lapisan dipermukaan. Beberapa tembaga masuk ke Fe, namun dengan jumlah yang sangat sedikit dan tidak sampai ke dalam. Kadar tembaga yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 sangat kecil, sehingga peluang untuk tembaga masuk dalam substrat Fe cukup kecil.

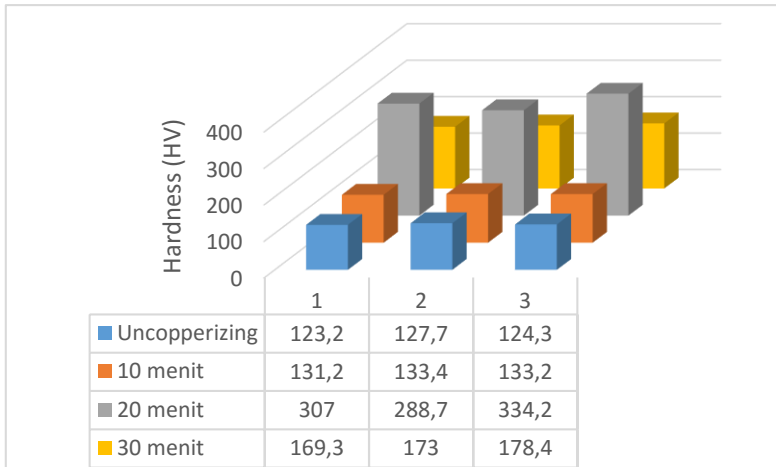
IV.1.6 Pengujian Kekerasan

Hasil kekerasan yang dilakukan pada potongan melintang dari sampel uji, berdasarkan pengujian kekerasan pada sampel pendinginan normal dan *quench* memiliki hasil yang fluktuatif. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8



Gambar 4.8 Nilai Kekerasan Sampel Uji Pendinginan Normal

Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali setiap sampel. Sebagaimana ditampilkan Gambar 4.8 diperoleh nilai kekerasan rata-rata untuk sampel dengan pendinginan normal dan waktu celup selama 10 menit, 20 menit dan 30 menit sebesar 98,67 HV; 105,6 HV; dan 237,27 HV. Nilai kekerasan maksimum untuk sampel uji dengan parameter pendinginan normal adalah sebesar 237,27 HV. Nilai kekerasan maksimum dikarenakan perubahan struktur mikro ferrit menjadi proeutectoid ferrit.



Gambar 4.9 Nilai Kekerasan Sampel Uji Pendinginan *Quench*

Nilai kekerasan untuk sampel dengan pendinginan *quench* dan waktu celup 10 menit, 20 menit dan 30 menit sebesar 132,6 HV; 309,97 HV; dan 173,57 HV. Nilai kekerasan paling besar diperoleh pada sampel uji dengan pendinginan *quench* dan waktu celup 20 menit. Nilai kekerasan yang diperoleh pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 berdasarkan struktur mikro yang diperoleh pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Sehingga ada pengaruh dari struktur mikro terhadap kekerasan (Thelning, 2000).

IV.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu celup dan variasi pendinginan terhadap perubahan struktur mikro dan sifat kekerasan dari baja AISI 1006. Waktu celup yang dilakukan terhitung tembakup lama yaitu 10, 20 dan 30 menit. Variasi pendinginan yang diberikan berupa pendinginan normal dan cepat (*quench*) media air. Hasil penelitian menjelaskan beberapa data seperti ketebalan, komposisi, spektrum XRD, dan struktur mikro serta kekerasan dari sampel. Hasil sampel penelitian

pun dibandingkan dengan sampel kontrol yang disesuaikan dengan metode penelitian

Hasil pengamatan makro pada sampel menunjukkan adanya reduksi ketebalan. Reduksi ketebalan yang terjadi sebanding dengan waktu celup. Pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu celup dan juga pendinginan yang diberikan, maka berpengaruh terhadap ketebalan dari sampel tersebut dalam hal pemaduan (Thelning, 2000). Reduksi ketebalan yang didapati dapat dihubungkan dengan banyak tembaga yang terdeposit pada permukaan yang di tampilkan. Setiap sampel uji memiliki deposit tembaga di permukaannya yang ditampilkan dengan warna orange pada Gambar 4.1. Jika pada Tabel 4.1 lamanya waktu celup akan mereduksi ketebalan dari sampel, sedangkan lamanya waktu celup tidak bisa membuat deposit tembaga semakin bertambah. Reduksi ketebalan yang terjadi dikarenakan erosi. Erosi yang terjadi dikarenakan tembaga cair. Erosi ini dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor mulai dari temperatur, waktu dan jumlah dari tembaga cair. Dikarenakan pengaruh waktu *exposure* yang lama pada temperatur leburnya tembaga dengan jumlah tembaga yang lebih banyak dibanding sampel uji. Disebut erosi dikarenakan terjadi pengurangan ketebalan yang signifikan. Sampel yang tereduksi larut pada tembaga cair tersebut (AWS, 2007). Sehingga jika lapisan/ deposit Tembaga semakin tebal dapat menyebabkan kekuatan tarik yang rendah (Sharma et.al, 2014). Jika reduksi area yang terjadi, maka dapat meningkatkan kekerasan (Thelning, 2000).

Hasil pengujian XRD terjadi peluasan puncak (peak broadening) dari fasa-fasa yang memiliki intensitas tertinggi sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.3. *Peak broadening* ini menunjukkan secara grafis adanya penambahan unsur yang berakibat pada pengecilan butir dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Terjadi pergeseran 2θ pada hasil XRD, hal ini dapat disebabkan adanya atom yang berdifusi ke sampel uji. Difusi yang terjadi tidak merubah atau membentuk fasa. Selain terjadi pergeseran 2θ , terjadi pula regangan (micro strain) dari FWHM yang diperoleh

setelah pengujian XRD. Regangan yang terjadi semakin membesar sebanding dengan penambahan unsur yang dilakukan. Melakukan *copperizing* berarti menambahkan tembaga secara mikro (*microalloying*), dengan tembaga memiliki pengaruh untuk mengecilkan butir (Tohidi, 2012). Menurut ASM Handbook (1990) tembaga yang terlarut di dalam baja dapat mengecilkan ukuran butir, bahkan penambahannya dalam kadar tertentu dapat menurunkan ukuran butir dengan ekstrim oleh karena itulah tembaga sering disebut juga dengan *ultra grain refinement agent* pada baja. Dijelaskan pula bahwa pengecilan ukuran butir Ferrite karena penambahan Tembaga terjadi akibat adanya Tembaga yang menghambat rekristalisasi austenite dan menghambat transformasi austenite ke ferrite. Penambahan tembaga pun berpengaruh terhadap kekerasan (Wilson, 1990).

Hasil pengamatan mikro, didapatkan struktur mikro yang berbeda. Banyaknya unsur yang ditambahkan, maka butir akan semakin kecil dan tak berbeda dengan struktur mikro sampel tanpa perlakuan (Tohidi, 2012). Pada Gambar 4.4 (d) diperoleh struktur mikro proeutectoid ferrit. Proeutectoid ini merupakan mikrostruktur dimana ferrit- α bernukleasi dengan matriks austenit- γ . Dapat terjadi jika baja dipanaskan pada temperatur 1200 °C selama 30 menit, kemudian dilakukan pendinginan dan mberada pada zona $\alpha+\gamma$. Proeutectoid atau α -primary dapat terjadi pada baja dengan unsur 0,12 %C (Tamura, 1988). Pada Gambar 4.5 (c) memiliki struktur martensit, dan Gambar (d) memiliki struktur bainit. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penambahan paduan dapat menurunkan temperatur Ms dan Bs. Struktur martensit dan bainit dapat terjadi jika sebelumnya dilakukan pemanasan pada temperatur γ . Kemudian dilakukan pendinginan hingga mencapai Ms dan Bs/ Hal inilah yang membuat austenit terdeformasi. Struktur ini dapat terbentuk meskipun memiliki 0,06 %C (Wilson, 1990).

Hasil *mapping* menunjukkan persebaran tembaga hanya berada pada lapisan permukaan. Namun, pada sampel dengan kondisi normal beberapa tembaga masuk ke Fe. Masuknya

tembaga ke Fe tidak terlalu dalam dan berjumlah sedikit, serta terpenetrasi di bagian batas butir. Hal yang dilakukan oleh Xu et al, bahwa beberapa tembaga dapat bedifusi di sepanjang batas butir ferrit dan di butir ferrit. Jika dihubungkan dengan hasil OES yang menunjukkan bahwa kadar tembaga terlihat fluktuatif, sehingga tidak menandakan adanya signifikansi dari tembaga yang berdifusi.

Nilai kekerasan yang didapatkan dikarenakan perlakuan yang diberikan. Perlakuan normalising membuat struktur lebih homogen respon baik terhadap kekerasan (Callister, 2007). Sedangkan perlakuan quench membuat struktur tidak homogen. Perlakuan quench cenderung membuat struktur martensit dan kecil sekali untuk terjadinya bainit. Nilai kekerasan untuk struktur bainit cenderung setengah kali struktur martensit dan diatas nilai kekerasan dari struktur pearlite (Thelning, 2000). Jika dibandingkan dengan kekerasan yang terjadi akibat pengecilan butir, jauh lebih besar nilai kekerasan martensit (Juristry, 2013). Oleh karena itu, nilai kekerasan tertinggi diperoleh saat perlakuan pendinginan quench dan waktu celup 20 menit dengan struktur martensit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis data dan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Metode *copperizing* dengan pendinginan normal dan parameter waktu celup 10 menit memiliki struktur mikro ferrit dengan kadar 0,06%Cu, 20 menit struktur mikro ferrit dengan kadar 0,03%Cu, dan 30 menit stuktur mikro proeutectoid ferrit dengan kadar 0,06%Cu.
- Metode *copperizing* dengan pendinginan cepat (*quench*) dan parameter waktu celup 10 menit memiliki struktur mikro ferrit dengan kadar 0,05%Cu, 20 menit struktur mikro martensit dengan kadar 0,44%Cu, dan 30 menit struktur mikro bainit dengan kadar 0,04%Cu. Penyimpangan %Cu pada waktu celup 20 menit dikarenakan tingkat kebersihan sebelum pengujian OES.
- Nilai kekerasan maksimum diperoleh dengan pendinginan cepat dan waktu celup 20 menit sebesar 309,97 HV dikarenakan struktur mikro yang terbentuk adalah martensit.
- Mekanisme penguatan yang terjadi pada AISI 1006 dengan metode *copperizing* adalah pengecilan butir ferrit untuk waktu celup 10 menit pendinginan normal dan quench, serta 20 menit pendinginan normal. Sedangkan sampel uji lainnya mengalami perubahan struktur mikro.

V.2 Saran

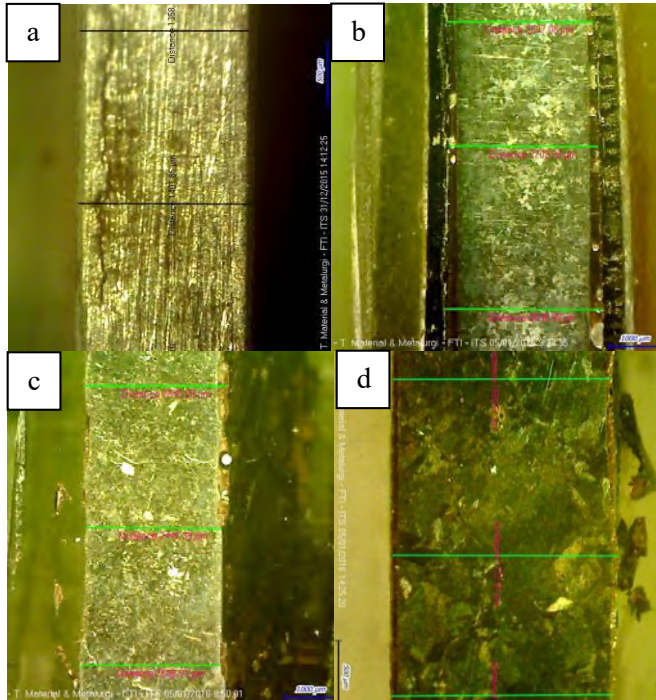
Hal - hal yang perlu diperhatikan untuk melakukan penelitian selanjutnya terkait metode *copperizing* adalah:

- Penggunaan krusibel yang tidak berbahan dasar grafit, karena dapat menimbulkan *carburizing* selama proses *copperizing*.

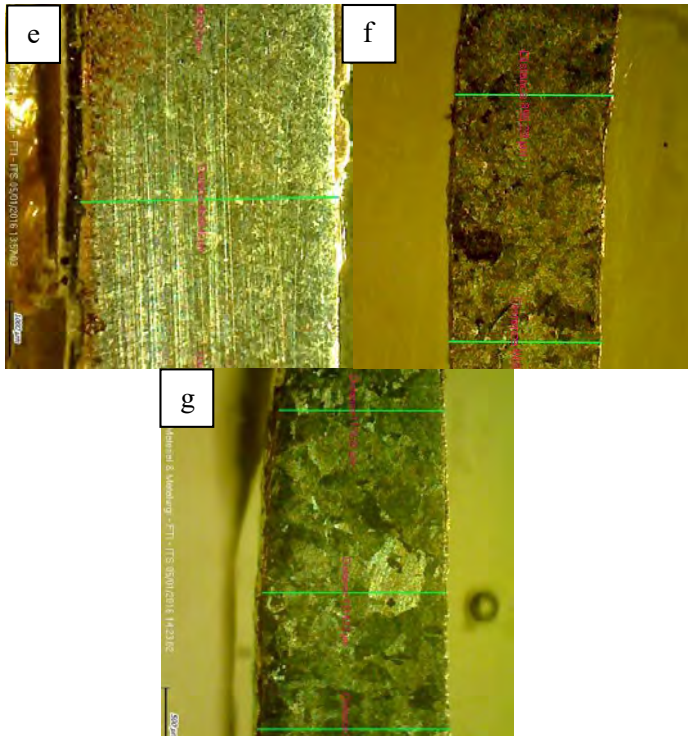
- Penggunaan *vacuum furnace* yang sesuai standar, agar tidak terkontaminasi dengan gas O₂.
- Metode pengambilan sampel saat pemindahan dari *muffle furnace* ke *vacuum furnace* perlu diperbaiki.
- Pastikan tembaga cair secara sempurna, untuk mengurangi kontaminasi menempel pada permukaan dan memastikan tembaga terdifusi secara sempurna.

LAMPIRAN

A. Hasil Pengamatan Makro



Gambar 1. Hasil Pengamatan Makro Penampang Melintang dari (a) sampel kontrol; pendinginan normalising dengan waktu celup (b) 10; (c) 20; dan (d) 30 menit



Gambar 2. Penampang Melintang Pendinginan Quenching dengan Waktu Xelup (e) 10; (f) 20; dan (g) 30 menit

A. Hasil Pengujian Spektrometri

1. Copperizing 10 menit

LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :10N

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date:

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.1	0.0946	0.0278	0.223	0.0142	0.0101	0.0414	0.0037
2	99.2	0.0843	0.0274	0.222	0.0141	0.0107	0.0351	0.0040
3	99.2	0.0762	0.0216	0.217	0.0120	0.0107	0.0337	0.0043
Ave	99.2	0.0850	0.0256	0.221	0.0134	0.0105	0.0367	0.0040
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0334	0.0707	< 0.0005	0.0677	0.0130	0.0013	0.0033	0.0114
2	0.0298	0.0608	< 0.0005	0.0578	0.0189	0.0022	0.0041	0.0164
3	0.0297	0.0555	< 0.0005	0.0537	0.0069	0.0019	0.0030	0.0041
Ave	0.0310	0.0623	< 0.0005	0.0597	0.0129	0.0018	0.0035	0.0106
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0032	0.0006	0.0013	0.0099	0.0011	0.0011	< 0.0005
2	0.0019	0.0026	0.0002	0.0009	0.0100	0.0004	0.0025	0.0018
3	0.0012	0.0028	0.0002	0.0007	0.0092	0.0017	0.0009	0.0009
Ave	0.0012	0.0029	0.0003	0.0010	0.0097	0.0011	0.0015	0.0010
	N	Se	Sb	Ta				
1	0.175	< 0.0010	0.0030	< 0.0040				
2	0.165	< 0.0010	0.0118	< 0.0040				
3	0.155	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0040				
Ave	0.165	< 0.0010	0.0049	< 0.0040				

Gambar 3. Komposisi Kimia Dengan Pendinginan Normalising

LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 10Q

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date :

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.4	0.0681	0.0177	0.207	0.0113	0.0080	0.0279	0.0063
2	99.5	0.0636	0.0162	0.210	0.0107	0.0087	0.0277	0.0053
3	99.5	0.0583	0.0166	0.216	0.0111	0.0083	0.0292	0.0056
Ave	99.4	0.0633	0.0168	0.211	0.0110	0.0083	0.0283	0.0058
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0260	0.0491	< 0.0005	0.0532	0.0116	< 0.0010	0.0027	< 0.0010
2	0.0254	0.0475	< 0.0005	0.0460	0.0106	0.0023	0.0043	< 0.0010
3	0.0264	0.0453	< 0.0005	0.0453	0.0032	0.0014	0.0041	< 0.0010
Ave	0.0260	0.0473	< 0.0005	0.0482	0.0085	0.0015	0.0037	< 0.0010
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0006	< 0.0001	0.0019	0.0077	0.0018	0.0026	0.0007
2	< 0.0010	< 0.0005	0.0001	0.0011	0.0089	0.0009	0.0019	0.0007
3	< 0.0010	0.0009	0.0002	0.0005	0.0102	0.0005	0.0033	< 0.0005
Ave	< 0.0010	0.0006	0.0001	0.0012	0.0089	0.0011	0.0026	< 0.0005
	N	Se	Sb	Ta				
1	< 0.0030	< 0.0010	0.0049	< 0.0040				
2	< 0.0030	< 0.0010	0.0030	< 0.0040				
3	< 0.0030	< 0.0010	0.0109	< 0.0040				
Ave	< 0.0030	< 0.0010	0.0063	< 0.0040				

Gambar 4. Komposisi Kimia Dengan Pendinginan Quenching

2. Copperizing 20 menit

LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 20N

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date :

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	97.8	0.299	0.212	0.595	0.121	0.0919	0.0697	< 0.0050
2	98.1	0.202	0.230	0.464	0.0438	0.0729	0.0571	< 0.0050
3	98.3	0.178	0.105	0.392	0.141	> 0.120	0.0506	< 0.0050
Ave	98.1	0.227	0.182	0.484	0.102	0.0983	0.0562	< 0.0050

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	< 0.0050	0.0828	< 0.0050	0.0295	0.0084	0.0053	< 0.0050	0.438
2	0.0059	0.0722	< 0.0050	0.0299	0.0060	< 0.0050	< 0.0050	0.444
3	0.0051	0.0610	< 0.0050	0.0228	0.0050	0.0051	< 0.0050	0.376
Ave	< 0.0050	0.0720	< 0.0050	0.0274	0.0065	0.0051	< 0.0050	0.419

	Pb
1	> 0.150
2	> 0.150
3	> 0.150
Ave	> 0.150

Gambar 5. Komposisi Kimia Dengan Pendinginan Normalising

LABORATORIUM DT NDT							
OES Chemical Results							
Sample ID : 20Q		Material :					
Customer :		Dimension :					
Lab-no. :		Heat-no. :					
Operator :		Ka. Laboratorium :					
Date :							
Spektralanalyse Foundry-MASTER				Grade :			
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1 98.7	0.147	0.0155	0.195	0.0145	0.0116	0.0221	0.0061
2 99.1	0.141	0.0135	0.197	0.0143	0.0110	0.0235	< 0.0050
3 99.2	0.155	0.0145	0.197	0.0145	0.0100	0.0237	< 0.0050
Ave 99.0	0.148	0.0145	0.196	0.0144	0.0109	0.0231	< 0.0050
Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1 0.0186	0.0496	< 0.0050	0.741	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
2 0.0203	0.0464	< 0.0050	0.320	0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
3 0.0169	0.0464	< 0.0050	0.256	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Ave 0.0186	0.0475	< 0.0050	0.439	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Pb							
1 < 0.0050							
2 < 0.0050							
3 < 0.0050							
Ave < 0.0050							

Gambar 6. Komposisi Kimia Dengan Pendinginan Quenching

3. Copperizing 30 menit

LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 30N

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date:

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.2	0.160	0.0185	0.222	0.0172	0.0122	0.0308	0.0045
2	99.3	0.124	0.0145	0.226	0.0161	0.0111	0.0338	0.0051
3	99.3	0.125	0.0140	0.230	0.0169	0.0105	0.0322	0.0045
Ave	99.3	0.136	0.0157	0.226	0.0167	0.0113	0.0323	0.0047
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0274	0.0548	< 0.0005	0.0706	0.0025	0.0038	0.0029	0.0089
2	0.0265	0.0483	< 0.0005	0.0543	0.0262	0.0016	< 0.0010	0.0157
3	0.0264	0.0470	< 0.0005	0.0488	0.0081	0.0019	0.0015	0.0158
Ave	0.0268	0.0500	< 0.0005	0.0579	0.0123	0.0024	0.0016	0.0135
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	0.0022	0.0028	0.0004	0.0023	0.0090	0.0008	0.0029	0.0033
2	0.0018	0.0022	0.0005	0.0009	0.0089	0.0013	0.0044	0.0044
3	< 0.0010	0.0026	0.0003	0.0007	0.0107	0.0003	0.0046	0.0029
Ave	0.0013	0.0025	0.0004	0.0013	0.0095	0.0008	0.0040	0.0035
	N	Se	Sb	Ta				
1	0.0215	0.0056	0.0288	0.0243				
2	0.0100	0.0049	0.0105	0.0221				
3	0.0057	0.0053	0.0196	0.0174				
Ave	0.0124	0.0053	0.0197	0.0212				

Gambar 7. Komposisi Kimia Dengan Pendinginan Normalising

LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 30Q

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date:

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.4	0.0896	0.0173	0.214	0.0143	0.0099	0.0299	0.0041
2	99.4	0.0841	0.0140	0.214	0.0142	0.0089	0.0298	0.0042
3	99.4	0.0873	0.0158	0.218	0.0145	0.0090	0.0304	0.0035
Ave	99.4	0.0870	0.0157	0.215	0.0144	0.0093	0.0301	0.0039

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0232	0.0458	< 0.0005	0.0407	< 0.0010	0.0013	0.0040	0.0057
2	0.0241	0.0447	< 0.0005	0.0383	0.0131	< 0.0010	0.0028	0.0033
3	0.0238	0.0439	< 0.0005	0.0390	0.0080	0.0022	0.0020	0.0019
Ave	0.0237	0.0448	< 0.0005	0.0393	0.0070	0.0014	0.0029	0.0036

	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0023	< 0.0001	0.0006	0.0097	0.0009	0.0028	0.0009
2	< 0.0010	0.0018	0.0001	0.0004	0.0071	0.0010	0.0022	0.0019
3	< 0.0010	0.0030	0.0004	0.0004	0.0085	0.0007	0.0026	0.0030
Ave	< 0.0010	0.0024	0.0002	0.0005	0.0084	0.0009	0.0025	0.0019

	N	Se	Sb	Ta
1	0.0149	0.0038	0.0104	0.0104
2	0.0122	0.0043	< 0.0010	0.0082
3	< 0.0030	0.0046	0.0164	0.0141
Ave	0.0090	0.0042	0.0089	0.0109

Gambar 8. Komposisi Kimia Dengan Pendinginan Quenching

2. Copperizing 10 menit

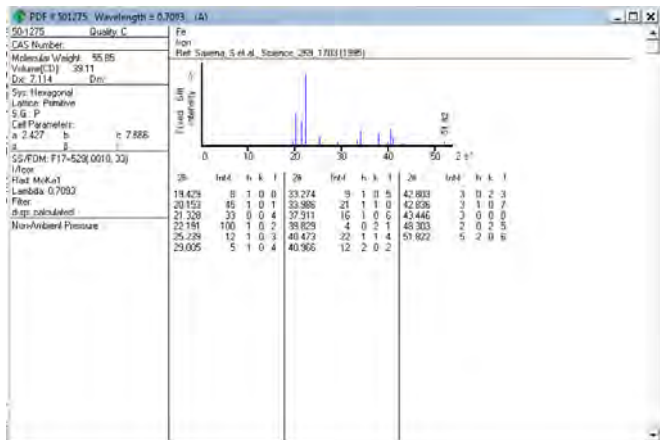
A. Normalising

Tabel 3. Peak List Hasil Pengujian

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.5532	33.89	0.2007	2.52512	5.05
44.5002	671.20	0.1004	2.03601	100.00
64.9464	67.63	0.5353	1.43589	10.08
82.1816	109.74	0.2007	1.17297	16.35

Tabel 4. Perbandingan Hasil Analisis

Difraksi Hasil Pengujian		JCPDS	
2θ	Unsur	2θ	Unsur
44,5002	Fe	44,92	Fe (α)
82,9357	Fe	82,49	Fe (α)
64,9464	Fe	65,19	Fe (α)



Gambar 10. Kartu PDF Unsur Fe

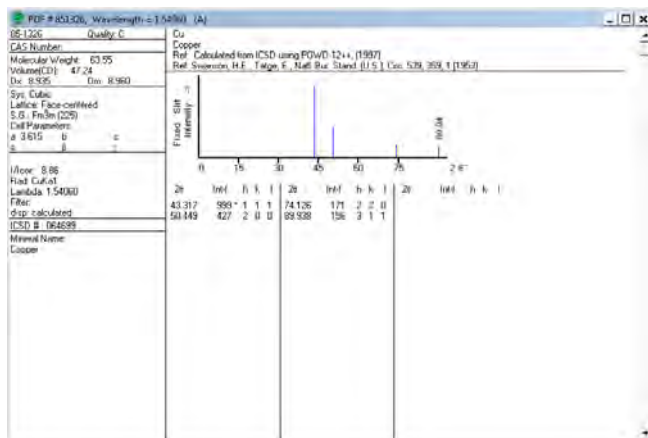
B. Quenching

Tabel 5. *Peak List* Hasil Pengujian

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.8740	845.74	0.1171	2.01992	100.00
65.1498	59.97	0.6691	1.43190	7.09
82.5244	161.90	0.4684	1.16896	19.14

Tabel 6. Perbandingan Hasil Analisis

Match		JCPDS	
2θ	Unsur	2θ	Unsur
44,8749	Fe	44,92	Fe (α)
82,5244	Fe	82,28	Fe (α)
65,1498	Fe	65,15	Fe (α)



Gambar 11. Kartu PDF Unsur Tembaga

3. Copperizing 20 menit

A. Normalising

Tabel 7. *Peak List* Hasil Pengujian

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.5873	969.87	0.1020	2.03056	100.00
44.6809	929.36	0.0669	2.02820	95.82
64.9749	114.35	0.2676	1.43533	11.79
82.1940	151.29	0.2342	1.17282	15.60

Tabel 8. Perbandingan Hasil Analisis

Match		JCPDS	
2θ	Unsur	2θ	Unsur
44,5873	Fe	43,63	Fe (α)
44,6809	Fe	44,63	Fe (α)
82,1940	Fe	82,29	Fe (α)
64,9749	Fe	64,85	Fe (α)

B. Quenching

Tabel 9. *Peak List* Hasil Pengujian

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6724	472.34	0.1171	2.02856	100.00
65.1460	57.18	0.8029	1.43197	12.11
82.4195	109.81	0.5353	1.17018	23.25

Tabel 10. Perbandingan Hasil Analisis

Match		JCPDS	
2 θ	Unsur	2 θ	Unsur
44,6297	Fe	44,63	Fe (α)
82,2921	Fe	82,29	Fe (α)
65,1460	Fe	65,16	Fe (α)

3. Copperizing 30 menit

A. Normalising

Tabel 11. *Peak List* Hasil Pengujian

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
44.4897	237.34	0.1673	2.03647	100.00
64.8428	42.37	0.5353	1.43793	17.85
70.9178	7.86	0.5353	1.32893	3.31
82.0693	94.56	0.6691	1.17429	39.84

Tabel 12. Perbandingan Hasil Analisis

Match		JCPDS	
2 θ	Unsur	2 θ	Unsur
44,7373	Fe	44,49	Fe (α)
82,0693	Fe	36,38	Fe (α)
64,9452	Fe	64,85	Fe (α)
70,9178	Fe ₃ C	70,84	Fe ₃ C

B. Quenching

Tabel 13. *Peak List* Hasil Pengujian

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.8665	52.13	0.4015	2.10974	20.47
44.4667	254.64	0.4015	2.03747	100.00
57.7528	32.38	0.1171	1.59640	12.72
65.0598	30.63	0.8029	1.43366	12.03
82.2399	64.52	0.8029	1.17228	25.34

Tabel 14. Perbandingan Hasil Analisis

Match		JCPDS	
2θ	Unsur	2θ	Unsur
44,4667	Fe	44,52	Fe (α)
82,2399	Fe	82,29	Fe (α)
42,8665	Fe	42,83	Fe (α)
65,0598	Fe	65,16	Fe (α)

C. Perhitungan Regangan Fe-α

$$B^2 = B_m^2 - B_s^2$$

B_m = FWHM material uji (rad)

B_s = FWHM material standar (rad) = $1,50 \times 10^{-3}$

$$\varepsilon = \frac{B}{4} \times \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

ε = regangan

a. Sampel Kontrol

$B_m = 1,46 \times 10^{-3}$ rad

$$B^2 = (1,46 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 3,44 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon = \frac{3,44 \times 10^{-4}}{4} \times \frac{\cos 44,656}{\sin 44,656}$$

$$\varepsilon = 8,703 \times 10^{-5}$$

b. Quenching

- 10 menit

$$B_m = 2,043 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$B^2 = (2,043 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 1,387 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon = \frac{1,387 \times 10^{-3}}{4} \times \frac{\cos 44,8749}{\sin 44,8749}$$

$$\varepsilon = 3,48 \times 10^{-4}$$

- 20 menit

$$B_m = 2,043 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$B^2 = (2,043 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 1,387 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon = \frac{1,387 \times 10^{-3}}{4} \times \frac{\cos 44,6724}{\sin 44,6724}$$

$$\varepsilon = 3,507 \times 10^{-4}$$

- 30 menit

$$B_m = 7,004 \times 10^{-3}$$

$$B^2 = (7,004 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 6,841 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon = \frac{6,841 \times 10^{-3}}{4} \times \frac{\cos 44,4667}{\sin 44,4667}$$

$$\varepsilon = 1,74 \times 10^{-3}$$

c. Normalising

- 10 menit

$$B_m = 1,7514 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$B^2 = (1,7514 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 9,04 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon = \frac{9,04 \times 10^{-4}}{4} \times \frac{\cos 44,5002}{\sin 44,5002}$$

$$\varepsilon = 2,3 \times 10^{-4}$$

- 20 menit

$$B_m = 1,779 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$B^2 = (1,779 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 9,56 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon = \frac{9,56 \times 10^{-4}}{4} \times \frac{\cos 44,5873}{\sin 44,5873}$$

$$\varepsilon = 2,43 \times 10^{-4}$$

- 30 menit

$$B_m = 2,918 \times 10^{-3}$$

$$B^2 = (2,918 \times 10^{-3})^2 - (1,50 \times 10^{-3})^2$$

$$B = 2,503 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon = \frac{2,503 \times 10^{-3}}{4} \times \frac{\cos 44,4987}{\sin 44,4987}$$

$$\varepsilon = 6,37 \times 10^{-4}$$

D. Perhitungan Butir (Metode Heyn Intercept)

1. Normalising
 - Tanpa Perlakuan (Titik 1)



Gambar 12. Struktur Mikro AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* Perbesaran 500x (1st point)

$$N = 9$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3,14$$

Keterangan:

N = Jumlah perpotongan garis lingkaran dengan batas butir

D = Diameter lingkaran

M = Perbesaran Gambar

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$Kll = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$Kll = \frac{3,14 \times 80}{500}$$

$$Kll = 0,5024 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{Kll}$$

$$P_L = \frac{9}{0,5024}$$

$$P_L = 17,9140$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{17,9140}$$

$$L_3 = 0,0558$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0558) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,2534) - 3,298\}$$

$$G = \{8,3297 - 3,298\}$$

$$G = 5,0317$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 5,0317. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{5,0317 - 5,0}{5,5 - 5,0} = \frac{x - 4032}{2851 - 4032}$$

$$\frac{0,0317}{0,5} = \frac{x - 4032}{-1181}$$

$$-74,8754 = x - 4032$$

$$x = 3957,1246 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 3957,1246 μm^2 .

- Titik 2



Gambar 13. Struktur Mikro AISI 1006 Normalizing Uncopperizing Perbesaran 500x (2nd point)

$$N = 11$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{500}$$

$$K_{ll} = 0,5024 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{KII}$$

$$P_L = \frac{11}{0,5024}$$

$$P_L = 21,8949$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{21,8949}$$

$$L_3 = 0,04567$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,04567) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,3404) - 3,298\}$$

$$G = \{8,9076 - 3,298\}$$

$$G = 5,6096$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 5,6096. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:
Interpolasi:

$$\frac{5,6096 - 5,5}{5,5 - 5,0} = \frac{x - 2851}{2851 - 4032}$$

$$\frac{0,1096}{0,5} = \frac{x - 2851}{-1181}$$

$$-258,8752 = x - 2851$$

$$x = 2592,1248 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Normalizing *Copperizing* 10 menit adalah $2592,1248 \mu\text{m}^2$.

- Titik 3



Gambar 14. Struktur Mikro AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* Perbesaran 500x (3rd point)

$$N = 11$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{500}$$

$$K_{ll} = 0,5024 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{ll}}$$

$$P_L = \frac{11}{0,5024}$$

$$P_L = 21,8949$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{21,8949}$$

$$L_3 = 0,04567$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,04567) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,3404) - 3,298\}$$

$$G = \{8,9076 - 3,298\}$$

$$G = 5,6096$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 5,6096. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{5,6096 - 5,5}{5,5 - 5,0} = \frac{x - 2851}{2851 - 4032}$$

$$\frac{0,1096}{0,5} = \frac{x - 2851}{-1181}$$

$$-258,8752 = x - 2851$$

$$x = 2592,1248 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah $2592,1248 \mu\text{m}^2$. Sehingga, diperoleh besar rata-rata butir sebesar $3047,1247 \mu\text{m}^2$.

- 10 menit



Gambar 15. Struktur Mikro AISI 1006 Normalising; 10 Menit
Immerse; Perbesaran 200x (1st point)

$$N = 9$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$Kll = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$Kll = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$Kll = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{KII}$$

$$P_L = \frac{9}{1,256}$$

$$P_L = 7,1656$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{7,1656}$$

$$L_3 = 0,13956$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,13956) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-0,85524) - 3,298\}$$

$$G = \{5,6836 - 3,298\}$$

$$G = 2,3856$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 2,3856. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:
Interpolasi:

$$\frac{2,3856 - 2,0}{2,5 - 2,0} = \frac{x - 32258}{22810 - 32258}$$

$$\frac{0,3856}{0,5} = \frac{x - 32258}{-9448}$$

$$-7286,2976 = x - 32258$$

$$x = 24971,7024 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Normalizing Copperizing 10 menit adalah $24971,7024 \mu\text{m}^2$.

- Titik 2



Gambar 16. Struktur Mikro AISI 1006 Normalising; 10 Menit Immerse; Perbesaran 200x (2nd point)

$$N = 11$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{ll}}$$

$$P_L = \frac{11}{1,256}$$

$$P_L = 8,75796$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{8,75796}$$

$$L_3 = 0,1141$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,1141) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-0,94271) - 3,298\}$$

$$G = \{6,2649 - 3,298\}$$

$$G = 2,966$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 2,966. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{2,966 - 2,5}{3 - 2,5} = \frac{x - 22810}{16129 - 22810}$$

$$\frac{0,466}{0,5} = \frac{x - 22810}{-6681}$$

$$-6226,692 = x - 22810$$

$$x = 16583,308 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size untuk baja AISI 1006 Normalizing *Copperizing* 10 menit adalah $16583,308 \mu\text{m}^2$.

- Titik 3



Gambar 17. Struktur Mikro AISI 1006 Normalising; 10 Menit Immerse; Perbesaran 200x (3rd point)

$$N = 21$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{KII}$$

$$P_L = \frac{21}{1,256}$$

$$P_L = 16,7197$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{16,7197}$$

$$L_3 = 0,0598$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0598) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-0,94271) - 3,298\}$$

$$G = \{8,1297 - 3,298\}$$

$$G = 4,832$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 2,3856. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{4,832 - 4,5}{4,5 - 4,0} = \frac{x - 5703}{5703 - 8065}$$

$$\frac{0,332}{0,5} = \frac{x - 5703}{-2362}$$

$$-1568,368 = x - 5703$$

$$x = 4134,632 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 sebesar 15229,8808 μm^2 .

- 20 menit



Gambar 18. Struktur Mikro AISI 1006 Normalising; 20 Menit Immerse; Perbesaran 200x (1st point)

$$\begin{aligned} N &= 24 \\ D &= 80 \text{ mm} \\ M &= 200 \\ \pi &= 3,14 \end{aligned}$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{ll}}$$

$$P_L = \frac{24}{1,256}$$

$$P_L = 19,1083$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{19,1083}$$

$$L_3 = 0,0523$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0523) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,281) - 3,298\}$$

$$G = \{8,5131 - 3,298\}$$

$$G = 5,215$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 3,8612. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

$$\frac{5,215 - 5}{5,5 - 5} = \frac{x - 4032}{2851 - 4032}$$

$$\frac{0,215}{0,5} = \frac{x - 4032}{-1181}$$

$$-507,83 = x - 4032$$

$$x = 3524,17 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size untuk baja AISI 1006 Normalizing *Copperizing* 20 menit adalah 3524,17 μm^2 .

- Titik 2



Gambar 19. Struktur Mikro AISI 1006 Normalising; 20 Menit Immerse; Perbesaran 200x (2nd point)

$$N = 15$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{KII}$$

$$P_L = \frac{15}{1,256}$$

$$P_L = 11,9427$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{19,9427}$$

$$L_3 = 0,0837$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,08373) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,0771) - 3,298\}$$

$$G = \{7,1581 - 3,298\}$$

$$G = 3,860$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *copperizing* 20 menit adalah 3,860. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

$$\frac{3,861 - 3,5}{3,5 - 3,0} = \frac{x - 11405}{11405 - 16129}$$

$$\frac{0,361}{0,5} = \frac{x - 11405}{-4724}$$

$$-3410,728 = x - 11405$$

$$x = 7994,272 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size untuk baja AISI 1006 Normalizing *Copperizing* 20 menit adalah $3524,17 \mu\text{m}^2$.

- Titik 3



Gambar 20. Struktur Mikro AISI 1006 Normalising; 20 Menit
Immerse; Perbesaran 200x (3rd point)

$$N = 23$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{ll}}$$

$$P_L = \frac{23}{1,256}$$

$$P_L = 18,312$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{18,312}$$

$$L_3 = 0,0546$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0546) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,263) - 3,298\}$$

$$G = \{8,3918 - 3,298\}$$

$$G = 5,094$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *copperizing* 20 menit adalah 5,094. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

$$\frac{5,094 - 5}{5,5 - 5} = \frac{x - 4032}{2851 - 4032}$$

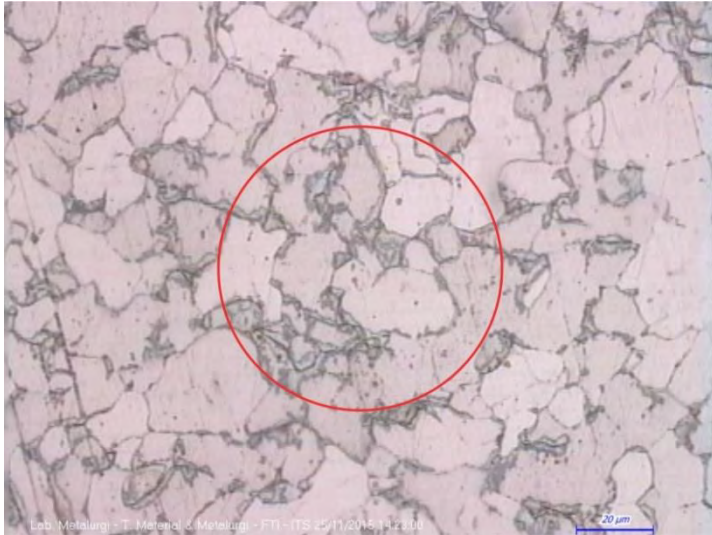
$$\frac{0,094}{0,5} = \frac{x - 4032}{-1181}$$

$$-222,028 = x - 4032$$

$$x = 4254,028 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Normalizing *Copperizing* 20 menit adalah $3767,456 \mu\text{m}^2$.

2. Quenching



Gambar 21. Struktur Mikro AISI 1006 Quenching Uncopperizing
Perbesaran 500x (1st point)

$$N = 14$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3,14$$

Keterangan:

N = Jumlah perpotongan garis lingkaran dengan batas butir

D = Diameter lingkaran

M = Perbesaran Gambar

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{500}$$

$$K_{II} = 0,5024 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{II}}$$

$$P_L = \frac{14}{0,5024}$$

$$P_L = 27,8662$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{27,8662}$$

$$L_3 = 0,0359$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0359) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,4449) - 3,298\}$$

$$G = \{9,6024 - 3,298\}$$

$$G = 6,3044$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Quenching *Uncopperizing* adalah 6,3044. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{6,3044 - 6,0}{6,5 - 6} = \frac{x - 2016}{1426 - 2016}$$

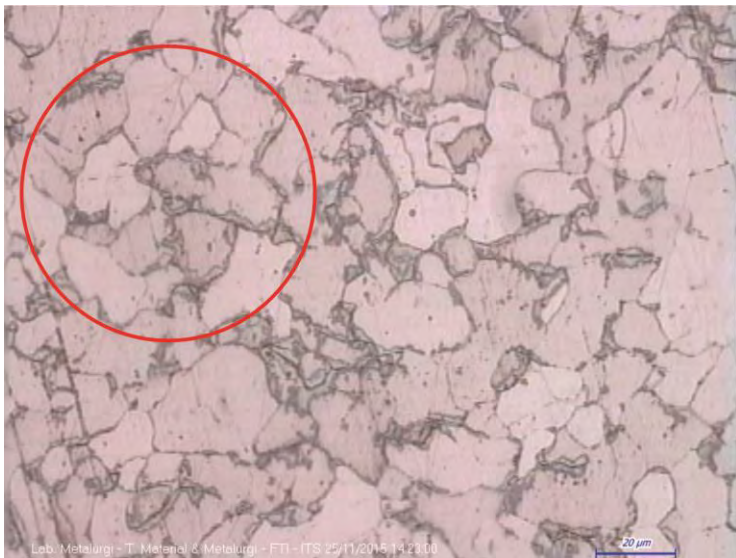
$$\frac{0,3044}{0,5} = \frac{x - 2016}{-590}$$

$$-359,192 = x - 2016$$

$$x = 1656,808 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diperoleh bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Quenching *Uncopperizing* adalah $1656,808 \mu\text{m}^2$.

- Titik 2



Gambar 22. Struktur Mikro AISI 1006 Quenching *Uncopperizing*
Perbesaran 500x (2nd point)

N = 21

D = 80 mm

$$M = 500$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{500}$$

$$K_{ll} = 0,5024 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{ll}}$$

$$P_L = \frac{21}{0,5024}$$

$$P_L = 41,7994$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{41,7994}$$

$$L_3 = 0,0239$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0239) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,6211) - 3,298\}$$

$$G = \{10,7738 - 3,298\}$$

$$G = 7,4758$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Quenching *Uncopperizing* adalah 7,4758. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:
Interpolasi:

$$\frac{7,4758 - 7,0}{7,0 - 6,5} = \frac{x - 1008}{1008 - 1426}$$

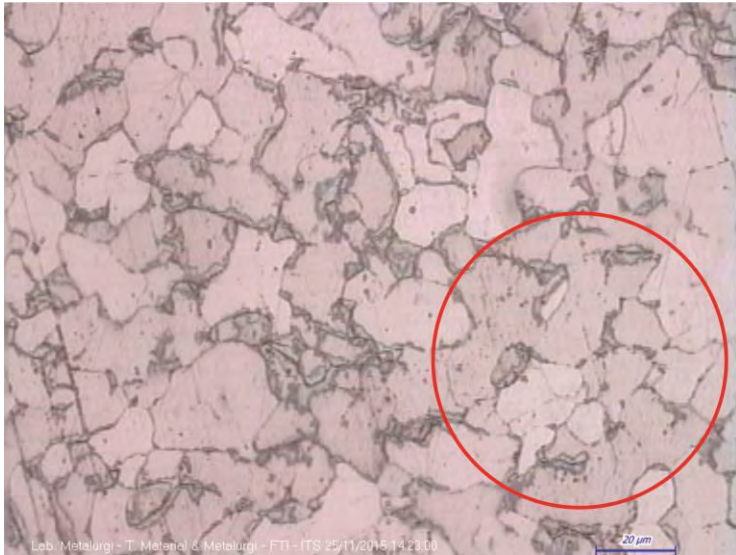
$$\frac{0,4758}{0,5} = \frac{x - 1008}{-418}$$

$$-397,7688 = x - 1008$$

$$x = 610,23 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size untuk baja AISI 1006 Quenching *Uncopperizing* adalah 610,23 μm^2 .

- Titik 3



Gambar 23. Struktur Mikro AISI 1006 Quenching Uncopperizing
Perbesaran 500x (3rd point)

$$N = 17$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{500}$$

$$K_{ll} = 0,5024 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{KII}$$

$$P_L = \frac{17}{0,5024}$$

$$P_L = 33,8376$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{33,8376}$$

$$L_3 = 0,02956$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,02956) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,529) - 3,298\}$$

$$G = \{10,1639 - 3,298\}$$

$$G = 6,8659$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Quenching *Uncopperizing* adalah 6,6856. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:
Interpolasi:

$$\frac{6,6856 - 6,5}{6,5 - 6,0} = \frac{x - 1426}{1426 - 2016}$$

$$\frac{0,1856}{0,5} = \frac{x - 1426}{-590}$$

$$-219,008 = x - 1426$$

$$x = 1206,992 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Quenching *Uncopperizing* adalah $1158,01 \mu\text{m}^2$.

- 10 menit



Gambar 24. Struktur Mikro AISI 1006 Quenching; 10 Menit *Copperizing*; Perbesaran 200x (1st point)

$$N = 47$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{ll}}$$

$$P_L = \frac{47}{1,256}$$

$$P_L = 37,42$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{37,42}$$

$$L_3 = 0,0267$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0267) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,5731) - 3,298\}$$

$$G = \{10,454 - 3,298\}$$

$$G = 7,156$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 6,027. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{7,156 - 7}{7,5 - 7} = \frac{x - 2016}{1426 - 2016}$$

$$\frac{0,156}{0,5} = \frac{x - 1008}{-703}$$

$$-219,336 = x - 1008$$

$$x = 788,64 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Quenching *Copperizing* 10 menit adalah $788,64 \mu\text{m}^2$.

- Titik 2



Gambar 25. Struktur Mikro AISI 1006 Quenching; 10 Menit
Copperizing; Perbesaran 200x (2nd point)

$$N = 42$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{ll} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{KII}$$

$$P_L = \frac{42}{1,256}$$

$$P_L = 33,494$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{33,494}$$

$$L_3 = 0,0299$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0299) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,524) - 3,298\}$$

$$G = \{10,129 - 3,298\}$$

$$G = 6,832$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Quenching *copperizing* 10 menit adalah 6,832. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{6,832 - 6,5}{6,5 - 6} = \frac{x - 1426}{1426 - 2016}$$

$$\frac{0,332}{0,5} = \frac{x - 1426}{-590}$$

$$-391,76 = x - 1426$$

$$x = 1034,24 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size untuk baja AISI 1006 Quenching *Copperizing* 20 menit adalah $1034,24 \mu\text{m}^2$.

- Titik 3



Gambar 26. Struktur Mikro AISI 1006 Quenching; 10 Menit *Copperizing*; Perbesaran 200x (3rd point)

$$N = 49$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$M = 200$$

$$\pi = 3,14$$

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{ll} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{ll} = \frac{3,14 \times 80}{200}$$

$$K_{II} = 1,256 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{II}}$$

$$P_L = \frac{49}{1,256}$$

$$P_L = 39,0127$$

- Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{39,0127}$$

$$L_3 = 0,0256$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} L_3) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (\log_{10} 0,0256) - 3,298\}$$

$$G = \{-6,6457 (-1,591) - 3,298\}$$

$$G = \{10,574 - 3,298\}$$

$$G = 7,277$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size baja AISI 1006 Normalizing *Uncopperizing* adalah 6,027. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{7,277 - 7}{7 - 6,5} = \frac{x - 1008}{1008 - 1426}$$

$$\frac{0,277}{0,5} = \frac{x - 1008}{-418}$$

$$\begin{aligned} -231,572 &= x - 1008 \\ x &= 776,428 \mu\text{m}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja AISI 1006 Quenching *Copperizing* 10 menit adalah 866,436 μm^2 .

DAFTAR PUSTAKA

_____, 1992. *ASTM E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. US: ASTM International

_____, 1999. *ASTM E407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloy*. US: ASTM International

_____, 2000. *ASTM E112 Standard Test Method for Determining Average Grain Size*. US: ASTM International

_____, 2000. *ASTM A830 Standard Specification for Plates, Carbon Steel, Structural Quality, Furnished to Chemical Composition Requirements*. West Conshohocken: ASTM International.

_____, 2002. *ASM Handbook Chapt. 1 Introduction to Steels and Cast Irons*. Ohio: ASM International.

_____, 2003. *ASTM E92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Material*. US: ASTM International,

_____, 2007. *AWS Brazing Handbook*. US: AWS.

Callister, W.D., 2007. *Material Science and Engineering - An Introduction 7th Ed*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Copper Development Association (CDA) Inc., 2012. *The Copper Advantage: A Guide to Working With Copper and Copper Alloys*. New York, NY: International Copper Association.

Jaypuria, K.S., 2009. *Project Report on Heat Treatment of Low Carbon Steel*. India, National Institute of Technology Rourkela.

Juristry, Jerry. 2013. *Studi Distribusi Besar Butir Ferrit dan Pengaruhnya Terhadap Kekerasan Pada Proses Termomekanik Baja HSLA dengan Variasi Reduksi Pada Temperatur 800 °C*. Depok: Repository UI.

Kundig, K.J.A. & Cowie, J.G., 2006. *Chapter 4: Copper and Copper Alloys*. In Kutz, M. *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design*, Volume 1, Third Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. pp.117-220.

Moore, D.M. & Reynolds, R.C. 1997. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford Univ. Press/CMS.

Sekunowo, O.I., Durowaye, S.I. & Gbenebor, O.P., 2014. *Effect of Copper on Microstructure and Mechanical Properties of Construction Steel*. International Journal of Chemical, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering Vol:8, No:8, pp.805-09.

Sharma, Tanu. 2014. *Properties of Electroless Tembaga Films Optimized for Horizontal Plating as a Function of Deposit Thickness*. Microelectril Engineering 140 pp: 38-46

Skobir, A.D, 2011. *High-Strength Low-Alloy (HSLA) Steels*. Review Article Materials and Technology, ISSN 1580-2949, pp. 295-300.

Tohidi, A.A., 2012. *Nanograined Ti-NB Microalloy Steel Achieved by Actembagamulative Roll Bonding (ARB) Process*. Materials Science and Engineering A577 pp: 43-47

Xu, Y., Wang, D., Jin, Q. & Zhou, Y., 1993. *Diffusion Behaviour of Fe-Tembaga Interface of Copper Brazed Double-*

wall Steel Tubes. Material Science Technology, Vol: 9, pp. 279-282.

Zhou, W.H. et al., 2014. *Copper Precipitation and Its Impact on Mechanical Properties in A Low Carbon Microalloyed Steel Processed by A Three-Step Heat Treatment*. Materials and Design, Vol: 63, pp.42-49.

Ghosh, A. et al., 2005. *Structure and Properties of a Low Carbon Tembaga bearing High Strength Steel*. Materials Science and Engineering A396 pp. 320-332.

Tamura, Imao. 1988. *Thermomechanical of High-strength Low-alloy Steel*. London: BH Press

Thelning, Karl-Erik. 2000. *Steel and Its Heat Treatment*. Sweden: BH Press

Wilson, A.D. 1990. *Properties and Microstructures of Copper Precipitation Aged Plate Steels*. USA: Lukens Steel Company.

<http://www.shimadzu.com> [Dikunjungi pada 14 September 2015]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Zulkifli yang dilahirkan di Kota Tangerang pada tanggal 14 Oktober 1994. Penulis pernah menjalankan pendidikan formal di SDN 8 Poris Pelawad, SMPN 4 Kota Tangerang, dan SMAN 2 Kota Tangerang. Penulis merupakan mahasiswa aktif Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS tahun masuk 2012.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi dan Material se-Indonesia sebagai sekretaris. Selain itu penulis juga aktif dalam aktifitas akademik sebagai asisten dosen dalam mata kuliah Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah, serta pernah mengikuti proyek bersama LIPI Serpong dalam bidang pelapisan untuk anjungan jembatan suramadu. Penulis memiliki sertifikasi sebagai *corrosion engineer* level 1.

Alamat penulis saat ini adalah Jl. KH. Hasyim Ashari Gg. Jambu No. 145 RT04/05 Kel. Buaran Indah Kota Tangerang Banten, 15119. Nomor telepon yang dapat dihubungi adalah +628979402115 atau alamat email kifli.zull@outlook.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)